

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie**

**Hodnocení geometrie hladící VBD při rovinném frézování**

***Evaluation of Inserts for Turning Polishing Geometry for Planar  
Milling***

**Student:**

Bc. Petr David

**Vedoucí diplomové práce:**

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2018

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Petr David**

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2303T002 Strojírenská technologie

Téma:

Hodnocení geometrie hladící VBD při rovinném frézování  
Evaluation of Inserts for Turning Polishing Geometry for Planar Milling

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Rozbor parametrů drsnosti obrobeného povrchu.
3. Geometrie hladící VBD pro frézování.
4. Diskuse experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

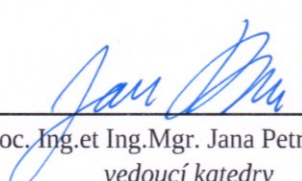
KOCMAN, Karel a PROKOP Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.  
FOREJT, M a PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.  
NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. Žilina: EDIS Žilina. 2007, 243s. ISBN 978-80-8070-711-8.  
SADÍLEK, M.; DUBSKÝ, J. *Obrábění I – Výběr přednášek*. 2015. VŠB – TU Ostrava, 137 s., ISBN 978-80-246-3857-1  
AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Překl. M. Kudela. 1. vyd. Praha : Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

  
doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.  
vedoucí katedry



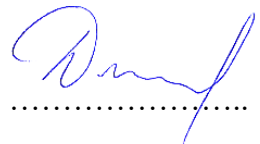
  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Diplomová práce byla vypracována se souhlasem společnosti Pramet Tools s.r.o. v Šumperku.

V Ostravě dne 16.5.2018.....

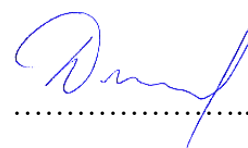


.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 16.5.2018.....



.....  
podpis studenta

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bc. David Petr

Horova 1709/5

787 01, Šumperk

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

DAVID, P. *Hodnocení geometrie hladící VBD při rovinném frézování: Diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2018, 73 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc., konzultant: Ing. Martin Binder, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá vyhodnocením vhodné geometrie hladící VBD při rovinném frézování. V první části je popsán stručný úvod do dané problematiky, rozbor parametrů drsnosti obrobeného povrchu, měření drsnosti povrchu, rozbor a výroba hladící VBD pro rovinné frézování. V hlavní části diplomové práce je provedeno seznámení s vyrobenými prototypy hladících VBD společně s popisem standardního frézovacího nástroje řady Penta HD a úvodní část experimentálních zkoušek testovaných VBD. V závěrečné části samotné práce jsou vypracovány a popsány funkční zkoušky prototypových hladících destiček se zaměřením na drsnost obrobené plochy a trvanlivost nástroje. V závěru se nachází provedení a vyhodnocení funkčních a trvanlivostních zkoušek s následným ekonomickým shrnutím vyrobených prototypů.

Klíčová slova: Dormer Pramet, drsnost, trvanlivost, frézování, hladící destička

## ANNOTATION TO DIPLOMA THESIS

DAVID, P. *Evaluation of Inserts for Turning Polishing Geometry for Planar Milling: Diploma thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2018, 73 p. Thesis head: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc., consultant: Ing. Martin Binder, Ph.D.

The diploma thesis deal with evaluation of suitable geometry of wiper insert for planar milling. The First part of diploma thesis describes introduction of given issues, parameters of surface roughness, measurement of surface roughness, analysis and production of wiper insert for planar milling. The main part of diploma thesis focuses on produced prototypes of wiper inserts with description of standard assortment of milling cutters Penta HD and introductory part of the experimental tests for wiper inserts. In the final part of diploma thesis are elaborated and described functional tests of prototypes of wiper inserts with focuses on surface roughness parameters and durability of tools. At the end the diploma thesis belong to describe implementation and evaluation of functional and durability tests with follow-up economic summaries of produced prototypes.

Keywords: Dormer Pramet, surface roughness, durability, milling, wiper insert

## **Poděkování**

Touto cestou děkuji mému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. za vstřícný a seriózní přístup, připomínky a konzultace, které se netýkaly jen této práce, ale celé problematiky frézování.

Stejně tak děkuji a vyslovuji uznání odbornému poradci diplomové práce panu Ing. Martinu Binderovi, Ph.D. ze společnosti Dormer Pramet, za jeho vedení v dané problematice, vstřícný, přátelský a profesionální přístup.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Obecná charakteristika daného problému .....</b>	<b>- 11 -</b>
1.1	Společnost Dormer Pramet .....	- 12 -
<b>2</b>	<b>Rozbor parametrů drsnosti obrobeného povrchu .....</b>	<b>- 13 -</b>
2.1	Drsnost povrchu .....	- 14 -
2.2	Struktura povrchu.....	- 15 -
2.2.1	Výškové parametry .....	- 15 -
2.2.2	Délkové (šířkové) parametry.....	- 17 -
2.2.3	Tvarové parametry .....	- 17 -
2.3	Značení drsnosti .....	- 18 -
2.3.1	Příklady značení .....	- 18 -
2.4	Měření drsnosti.....	- 20 -
2.4.1	Měření drsnosti pomocí kvalitativního hodnocení.....	- 20 -
2.4.2	Měření drsnosti povrchu pomocí dotkových profilometrů.....	- 20 -
2.4.3	Měření drsnosti pomocí metody světelného řezu.....	- 22 -
2.4.4	Měření drsnosti pomocí interference světla .....	- 22 -
<b>3</b>	<b>Geometrie hladicí VBD pro frézování .....</b>	<b>- 24 -</b>
3.1	Volba vhodné VBD pro frézování .....	- 25 -
3.1.1	Ostrý břit .....	- 25 -
3.1.2	Břit s fazetkou .....	- 25 -
3.1.3	Břit s rektifikovaným ostrím .....	- 26 -
3.1.4	Rektifikovaný břit s fazetkou .....	- 26 -
3.2	Hladicí břit VBD .....	- 27 -
3.3	Geometrie hladicí VBD XNGX 1308DNSN .....	- 28 -
3.4	Výroba hladicí VBD XNGX 1308DNSN .....	- 29 -
3.5	Zaoblení řezné hrany hladicí VBD XNGX 1308DNSN .....	- 31 -
<b>4</b>	<b>Diskuse experimentů.....</b>	<b>- 32 -</b>
4.1	Nástroje Dormer Pramet .....	- 32 -
4.1.1	Testované VBD PNMU 1308DNSR-M a hladicí XNGX 1308 DNSN .....	- 32 -
4.1.2	Frézovací nástroj 160C08R-S57PN13 .....	- 34 -
4.2	Funkční zkoušky obrábění na oceli C45 (ČSN 12050.1).....	- 36 -
4.2.1	Frézovací centrum FCV 63 SCA .....	- 36 -
4.2.2	Vlastnosti materiálu C45 (ČSN 12050.1) a X37CrMoV5-1 (ČSN 19552).....	- 37 -
4.2.3	Volba řezných podmínek pro funkční zkoušky.....	- 39 -
4.2.4	Kontrola ustavení hladicí destičky XNGX 1308DNSN.....	- 40 -
4.2.5	Zařízení pro měření drsnosti .....	- 41 -

4.3	Zkoušky trvanlivosti VBD na oceli C45 a X37CrMoV5-1 .....	- 42 -
4.3.1	Volba řezných podmínek pro zkoušku trvanlivosti.....	- 42 -
4.4	Vyhodnocení funkčních zkoušek .....	- 43 -
4.4.1	Vyhodnocení funkčních zkoušek zaměřené na drsnost povrchu <i>Ra</i> a <i>Rz</i> .....	- 43 -
4.5	Vyhodnocení zkoušek trvanlivosti VBD .....	- 47 -
4.5.1	Vyhodnocení zkoušek trvanlivosti pro materiál C45 (ČSN 12050.9).....	- 47 -
4.5.1.1	Vyhodnocení trvanlivosti v závislosti na drsnosti povrchu, C45 (ČSN 12050.9)-	48 -
4.5.2	Vyhodnocení zkoušek trvanlivosti pro materiál X37CrMoV5-1 (ČSN 19552)..	- 52 -
4.5.2.1	Vyhodnocení trvanlivosti v závislosti na drsnosti povrchu, X37CrMoV5-1 .....	- 53 -
4.5.3	Shrnutí zkoušek trvanlivosti pro materiály C45 a X37CrMoV5-1 .....	- 56 -
<b>5</b>	<b>Technicko-ekonomické zhodnocení.....</b>	<b>- 57 -</b>
5.1	Technické zhodnocení.....	- 57 -
5.2	Ekonomické zhodnocení .....	- 60 -
5.2.1	Navrhované řešení s hladicí VBD XNGX 1308DNSN.....	- 60 -
5.2.2	Standardní řešení bez hladicí VBD XNGX 1308DNSN.....	- 61 -
5.2.3	Porovnání navrhovaného a stávajícího řešení .....	- 62 -
<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>- 63 -</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>- 67 -</b>
<b>8</b>	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>- 69 -</b>
<b>9</b>	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>- 71 -</b>
<b>10</b>	<b>Seznam grafů.....</b>	<b>- 72 -</b>
<b>11</b>	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>- 73 -</b>



## Seznam použitých značek

Zkratka/symbol	Popis	Jednotka
$a_e$	Šířka záběru	[mm]
$a_p$	Axiální hloubka řezu	[mm]
$f$	Minutový posuv	[mm·min <sup>-1</sup> ]
$f_{rev}$	Rychlost posuvu na otáčku	[mm/ot]
$f_z$	Posuv na zub	[mm]
HB	Tvrdost podle Brinella	[ - ]
$l_n$	Základní délka profilu	[mm]
$l_r$	Základní délka profilu	[mm]
$l_t$	Celková délka profilu	[mm]
$R_a$	Střední aritmetická úchylka profilu	[μm]
$R_e$	Mez kluzu	[MPa]
$R_m$	Mez pevnosti	[MPa]
$R_q$	Průměrná kvadratická úchylka profilu	[μm]
$R_{sk}$	Šikmost posuzovaného profilu	[μm]
$R_{sm}$	Průměrná vzdálenost prvků profilu	[μm]
$R_v$	Největší hloubka prohlubně profilu	[μm]
$R_z$	Výška nerovnosti profilu	[μm]
$R_{\Delta q}$	Kvadratický sklon posuzovaného profilu	[μm]
$R_\epsilon$	Zaoblení řezné hrany VBD	[μm]
T	Trvanlivost	[min]
$VB_B$	Opotřebení hřbetu VBD	[mm]
$v_c$	Řezná rychlost	[m·min <sup>-1</sup> ]
$\gamma_p$	Úhel čela	[°]
$\kappa_r$	Úhel nastavení	[°]

## Úvod

V současné době jsou kladeny čím dál větší požadavky na jakost obrobku. Požadovanou jakost lze dosáhnout specifickými nástroji pro frézování. V praxi se začínají rozvíjet čím dál více speciální hrubovací a polo hrubovací nástroje, na které jsou kladeny nároky s ohledem na drsnost obrobené plochy finálního výrobku.

Aby bylo dosaženo, co největší efektivnosti, v našem případě při rovinném frézování, používají se hrubovací frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami, které jsou opatřeny destičkami hrubovacími a také hladíci. Právě tyto hladící destičky mají za úkol zajistit obráběnému povrchu požadovanou drsnost. Jejich úpravou geometrie jsme schopni zajistit požadovanou drsnost obrobené plochy, zefektivnit výrobu a především snížit náklady na daný proces výroby.

Téma diplomové práce, která se zabývá danou problematikou, bylo vypracováno na základě podnětu společnosti Dormer Pramet, sídlící v Šumperku. Vývojové centrum společnosti dostalo za úkol vyrobit a zkoumat vyměnitelné břitové destičky pro rovinné frézování s ohledem na kvalitu obrobené plochy. Tyto destičky se budou upínat do standardní frézy typu Penta HD tak, aby zajistily drsnost obrobeného povrchu  $R_a$  do  $3,2\text{ }\mu\text{m}$ .

# 1 Obecná charakteristika daného problému

Frézováním můžeme odebírat rovinné i zakřivené plochy takovým způsobem, že zuby frézy odebírají z povrchu materiálu třísky. Frézy můžeme rozřadit podle mnoha hledisek, například podle tvaru ploch s ostrím, podle průběhu břitů, podle způsobu výroby zubů, podle počtu dílů nebo třeba podle upnutí na frézkách. Problém nastává tehdy, když chceme docílit co možno největší rychlosti obrábění s ohledem na kvalitu obrobené plochy. Kvůli tomu jsme nuceni najít takové řešení, které nám zajistí co možno nejefektivnější odebrání materiálu a současně zanechá povrch v požadované drsnosti. Cílem je najít takové řešení, které vyhoví požadavkům zákazníka. Touto problematikou se nezabývá pouze tato diplomová práce, ale především výrobci řezných nástrojů, jako je například společnost Dormer Pramet.

Ze strany zákazníků vznikl požadavek na řešení této problematiky. Vývojové centrum společnosti navrhlo řešení, kterým se zabývá právě tato práce. Výsledným řešením tohoto problému, speciálně pro rovinné hrubování, jsou frézy řady SPN 13 - Penta HD, které jsou opatřeny sedmi hrubovacími vyměnitelnými břitovými destičkami a jednou hladicí destičkou pro dosažení požadované drsnosti povrchu. Hrubovací destičky mají tvar oboustranného pětiúhelníku a disponují až desíti řeznými hranami. Dále byly vyrobeny hladicí destičky, které mají za úkol zanechat povrch v přijatelné drsnosti. Tyto destičky byly zhotoveny ve třech prototypových sadách. Každá prototypová sada je složena z několika prototypových vzorků. Všechny prototypové vzorky mají tvar kosočtverce a jejich odlišnost je pouze v zaoblení řezné hrany. Destičky budou upnuty do standardní frézy řady Penta HD o průměru 160 mm. Typ této frézy je opatřen celkem osmi lůžky pro upnutí hrubovacích a hladicí VBD.

Cílem diplomové práce bude vyhodnotit nejvhodnější prototypovou sadu s ohledem na kvalitu obrobené plochy a trvanlivost daného nástroje. Díky experimentům bude možno vyhodnotit a dojít k závěru, která prototypová sada bude zařazena do stávajícího sortimentu společnosti. Budeme cíleně měnit řezné podmínky, sledovat opotřebení nástroje a především se soustředit na požadovanou drsnost povrchu obráběného materiálu. Všechny hodnoty drsnosti povrchu a trvanlivosti nástroje budou zapisovány a vyhodnocovány v samotném závěru práce. Na závěr provedeme technicko-ekonomické zhodnocení zkoušených prototypů a rozhodneme, které vyměnitelné hladicí destičky budou zahrnuty do nabízeného sortimentu výrobce řezných nástrojů Dormer Pramet.

## 1.1 Společnost Dormer Pramet

Jak již bylo zmíněno v úvodu této práce, tak téma bylo vypracováno ve spolupráci se společností Dormer Pramet. Tato firma začala realizovat výrobu řezných nástrojů pro obrábění už v roce 1951 ve městě Šumperk. [1]

Zaměstnanci společnosti se zabývají vývojem a také výrobou řezných nástrojů pro frézování, soustružení a také vrtání. [1]

V současné době společnost nabízí obráběcí nástroje společně s vyměnitelnými břitovými destičkami, které jsou opatřeny širokou škálou geometrií a povlaků zajišťující zákazníkovi efektivní a spolehlivou výrobu. [1]



*Obrázek 1.1 Sortiment společnosti Dormer Pramet Šumperk [1]*

Neustálým zlepšováním a posunem společnosti v oblasti používání nových technologií si firma Dormer Pramet zajišťuje svou pozici na světovém trhu. Společnost se pohybuje v oblasti výroby řezných nástrojů již mnoho desítek let a je si vědoma vysoké konkurence, a proto jsou pracovníci společnosti nuceni používat nové technologie výroby tak, aby zajistili pozici společnosti na světovém odběratelském trhu. Za použití vhodných geometrií nástrojů je konkrétní nástroj schopen zaručit zákazníkovi dokonalou přesnost a efektivitu výroby. Z důvodu konkurence schopnosti je společnost Dormer Pramet nucena držet krok se stávajícími trendy, tím pádem je nutno nabízet zákazníkovi stále nové, velmi kvalitní a trvanlivé nástroje pro frézování, soustružení a také vrtání.

## 2 Rozbor parametrů drsnosti obrobeného povrchu

Při obrábění všech materiálů dochází ke vzniku různých nerovností povrchu. Vzniklým nerovnostem nelze zabránit ani volbou jiné technologie. Obrobený povrch je komerčně i technologicky důležitý z mnoha faktorů, samotný povrch obrobené součásti může ovlivňovat například estetiku polotovaru, bezpečnost, tření a opotřebení polotovaru, mechanické i fyzikální vlastnosti nebo například montáž. Estetické vlastnosti jsou v dnešní době velmi důležité, hlavně pro komerční účely, hladká součást bez škrábanců dělá zaručeně dobrý dojem před zákazníkem. Povrch jako takový ovlivňuje mechanické, ale také fyzikální vlastnosti, například povrchové vady, které mohou způsobovat koncentraci napětí. [2,3,8]

Povrch polotovarů nebo výrobků nebude nikdy dokonale hladký. Většinou to nebývá ze strany společností ani cílem. V technické praxi se snažíme o to, abychom docílili co možno nejideálnějšího povrchu, to znamená povrchu, který je předepsán v technické dokumentaci polotovaru. Záleží na struktuře používaného materiálu, na volbě technologie obrábění a také na vhodné jakosti zvoleného povrchu. Je nutno říct, že povrchy s vysokou kvalitou jsou nákladné na výrobu, čímž logicky zvyšují cenu daného polotovaru. Pokud volíme méně kvalitní povrch, je nutné si uvědomit, že méně kvalitní povrchy mohou výrazně ovlivňovat fungování výrobku. [2,3,8]

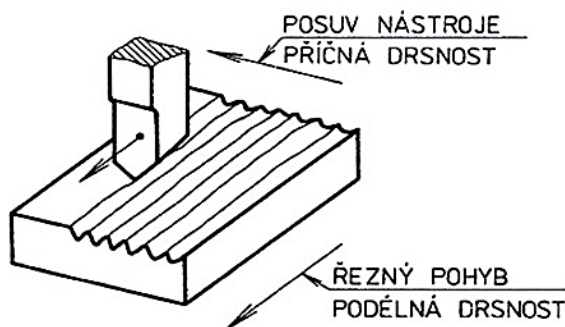
Drsnost povrchu ovlivňuje samotnou funkčnost polotovaru, životnost a také spolehlivost výrobku, jako například samotná přesnost chodu různých strojních součástí, schopnost odolávat opotřebení, zabraňovat tepelným ztrátám třením nebo zabraňovat hlučnosti. Už jen kvůli těmto faktorům je zřejmé, že sledovat drsnost je velmi důležité. [2,3,8]

Drsnost povrchu můžeme tedy chápat jako nerovnost povrchu s relativně malou vzdáleností, kdy tyto nerovnosti vznikají při samotné výrobě anebo jejím vlivem. Do drsnosti povrchu nelze zahrnovat vady povrchu. Samotná drsnost obrobeného povrchu, respektive její hodnota, je přímo závislá na určitých faktorech. Nejvýznamnějšími a nejdůležitějšími faktory jsou například fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu. Výslednou drsnost polotovaru dále ovlivňuje samotný nástroj, který polotovar obrábí, především jeho správná geometrie břitu například u hladicích VBD. Jako posledním faktorem, který může ovlivnit drsnost obráběné plochy, je bezpochyby volba řezných podmínek, jako například velikost posuvu nástroje  $f_z$  a nebo jeho řezná rychlost  $v_c$ . Pro porovnání požadované výsledné drsnosti materiálu se obrobený povrch porovná s referenčním povrchem ze vzorkovnice, kdy tento referenční povrch je opracován na stejném typu stroje. [2,3,8]

## 2.1 Drsnost povrchu

Při působení relativního pohybu mezi dvěma elementy, v našem případě to bude nástroj a obrobek, vzniká bez pochyb tření, které následně tvoří a ovlivňuje drsnost povrchu. Vzájemný pohyb a působení řezného nástroje určitou silou vyvolává reakci a zanechává na povrchu viditelné, popřípadě mikroskopické stopy. Tyto stopy mohou mít buďto periodický, nebo aperiodický tvar. Výsledný povrch námi zhotovené součásti neovlivňuje pouze pohyb nástroje, ale také mechanismus utváření třísky. Díky tomu může například docházet k samovolnému vytrhávání částic z materiálu. Drsnost povrchu jako takovou vyhodnocujeme ve dvou směrech, nazýváme jej příčný a podélný směr. Do těchto směrů nezahrnujeme vady povrchu, jako jsou například důlky rysky nebo také trhliny. [5,6]

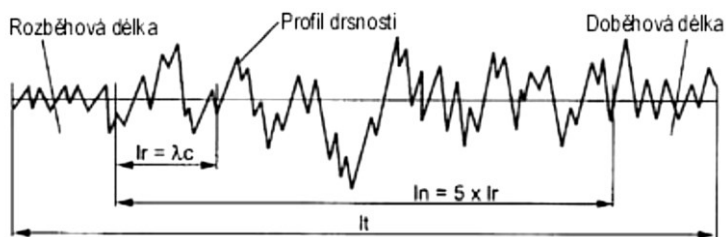
- a) Podélná drsnost - vyskytuje se ve směru řezu
- b) Příčná drsnost - vyskytuje se ve směru nástroje, to znamená kolmo na směr řezu v profilu obrobce [5,6]



Obrázek 2.1 Směry posuzování drsnosti povrchu [4]

Požadovanou drsnost jakéhokoli povrchu můžeme vyhodnotit pomocí základních tří parametrů. Mluvíme tedy o parametrech výškových, délkových a tvarových. [5,6]

Na obrázku 2.2 můžeme pozorovat rozběhovou délku, profil drsnosti a doběhovou délku, kdy základní délka značená  $l_r$ , je délka, která se využívá pro rozpoznání nerovností daného profilu. Dále můžeme sledovat vyhodnocovací délku  $l_n$ , ve které se profil vyhodnocuje. Jako poslední rozlišujeme délku celkovou nazývanou  $l_t$ . Jedná se o délku dráhy, kterou snímač urazí. Tento snímač snímá úchytky tvaru povrchu. [5,6]



Obrázek 2.2 Měřené délky [3]

## 2.2 Struktura povrchu

Nerovnosti vznikají na povrchu obráběných ploch při použití jakékoliv technologie. Protože povrch lze chápat, jako prostorový útvar, problém posuzování nerovností se řeší redukcí do roviny řezu rovinou kolmou k povrchu. Tím získáváme profil, který je základním zdrojem námi požadovaných informací. [3]

Základní strukturu povrchu můžeme rozčlenit na jednotlivé složky a to podle rozteče příslušných nerovností. Strukturu povrchu tvoří celkem tři složky. Rozlišujeme složku vlnitosti, která vytváří největší rozteč nerovností, a složku, která má nejmenší rozteč tvořící drsnost povrchu. Jedná se o geometrické parametry, které určuje norma ČSN EN ISO4287:

- R - parametr vypočítaný z profilu drsnosti,
- W - parametr vypočítaný z profilu vlnitosti,
- P - parametr vypočítaný ze základního profilu. [3]

Základní délku  $l_r$ , můžeme chápat jako délku, která se nachází ve směru osy „x“, tato délka je používána pro rozpoznání nerovností charakterizující daný profil. [3]

Naproti tomu vyhodnocovanou délkou  $l_n$  myslíme délku, na které profil vyhodnocujeme. Rozlišujeme tři základní parametry, díky kterým lze vyhodnocovat drsnost povrchu, jsou to:

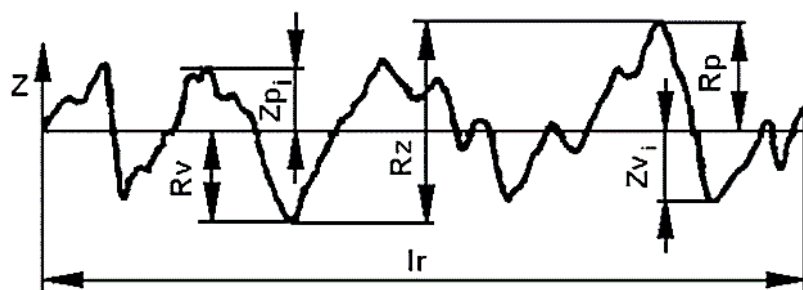
- výškové parametry,
- délkové parametry,
- tvarové parametry. [3]

### 2.2.1 Výškové parametry

Výškovým parametrem se rozumí největší výška výstupku profilu  $R_p$ , hovoříme tedy o největší výšce výstupku profilu  $Z_p$  nacházející se v rozsahu základní délky. [3]

Největší hloubkou prohlubně profilu  $R_v$  mluvíme jako o největší hloubce prohlubně profilu  $Z_v$  v samotném rozsahu základní délky. [3]

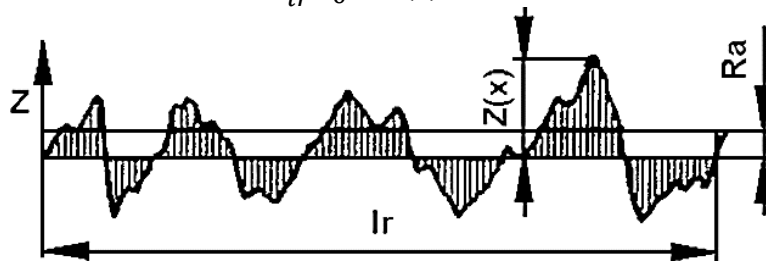
Největší výška profilu  $R_z$  bude tedy součet největší výšky profilu  $Z_p$  a největší hloubky profilu  $Z_v$  v samotném rozsahu základní délky. [3]



Obrázek 2.3 Výškové parametry  $R_v$ ,  $R_p$  a  $R_z$  [3]

Střední aritmetická úchylka profilu  $Ra$  je aritmetický průměr absolutních hodnot  $Z(x)$  v samotném rozsahu základní délky. Hodnoty  $Z(x)$  bohužel nevypovídají přesně o námi dané drsnosti, protože  $Ra$  nereaguje na extrémní výšky a hloubky profilu. [3]

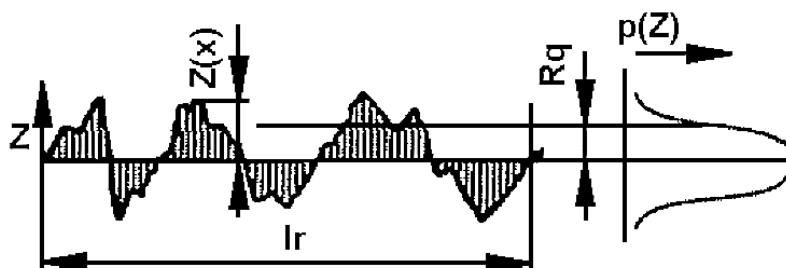
$$Ra = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (1)$$



Obrázek 2.4 Výškový parametr  $Ra$  [3]

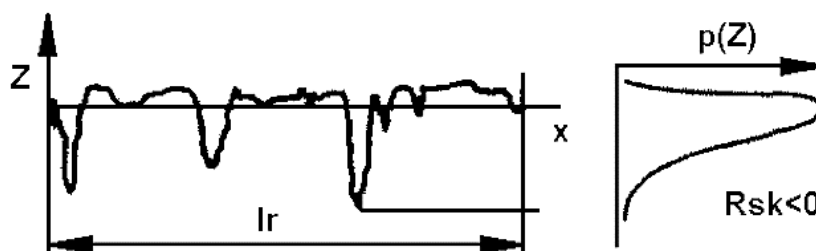
Za průměrnou kvadratickou úchylku profilu  $Rq$  můžeme považovat průměrnou kvadratickou hodnotu odchylek  $Z(x)$  profilu v rozsahu základní délky. Parametr  $Rq$  má význam při statistickém pozorování profilu povrchu, neboť zároveň odpovídá standardní odchylce z profilových souřadnic. [3]

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z(x)^2 dx} \quad (2)$$



Obrázek 2.5 Výškový parametr  $Rq$  [3]

Jako posledním výškovým parametrem je šikmost posuzovaného profilu  $Rsk$ , za který můžeme považovat podíl průměrných hodnot třetích mocnin pořadnic  $Z(x)$  a také třetí mocniny hodnoty  $Rq$  v rozsahu základní délky  $l_r$ . Negativní hodnota  $Rsk$  může odpovídat správným vlastnostem nosnosti profilu. [3]



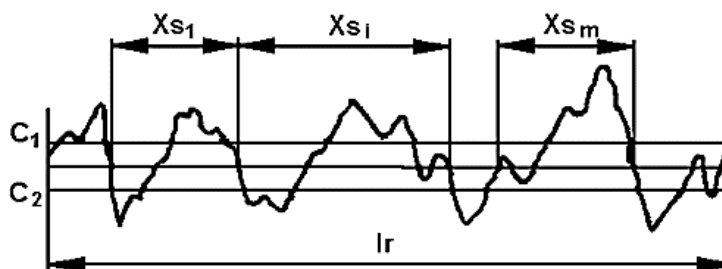
Obrázek 2.6 Výškový parametr  $Rsk$  [3]



### 2.2.2 Délkové (šířkové) parametry

Za délkový (šířkový) parametr můžeme brát průměrnou vzdálenost prvků profilu označovanou  $RS_m$ . Jedná se o průměrnou hodnotu šířek profilu  $X_s$ , která se nachází v rozsahu základní délky. [3]

$$RS_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{s_i} \quad (3)$$

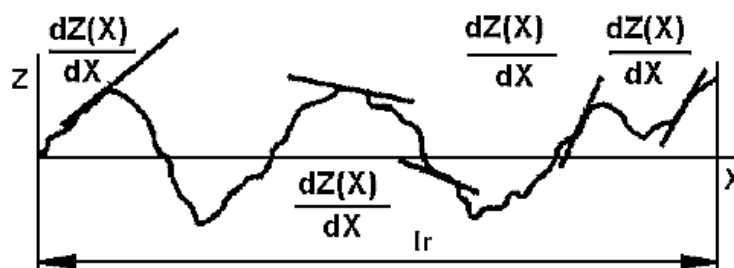


Obrázek 2.7 Délkový parametr  $RS_m$ [3]

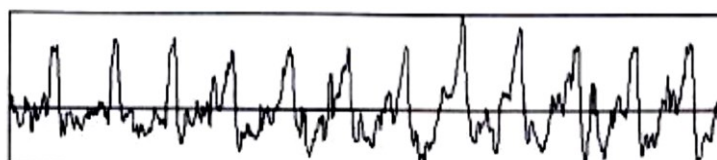
### 2.2.3 Tvarové parametry

Za tvarový parametr můžeme považovat průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu  $R\Delta q$ , což je průměrná kvadratická hodnota sklonů  $dZ/dX$  v rozsahu základní délky. Tento parametr je důležitý především při hodnocení tribologických vlastností, odrazu světla nebo při galvanickém pokovování. [3]

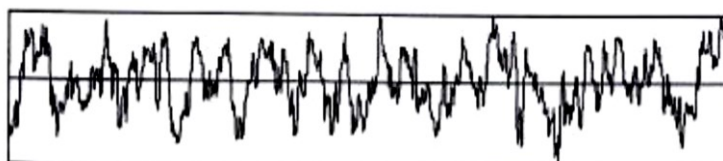
$$R\Delta q = \sqrt{\frac{1}{lr} \left( \frac{dZ}{dX} \right)^2 dx} \quad (4)$$



Obrázek 2.8 Tvarový parametr  $R\Delta q$  [3]



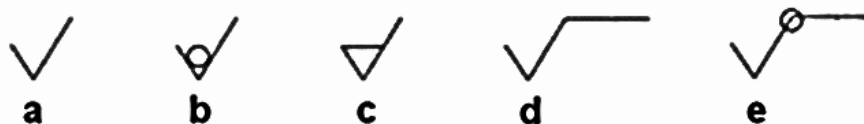
Obrázek 2.9 Profil drsnosti soustruženého povrchu [3]



Obrázek 2.10 Profil drsnosti broušeného povrchu [3]

## 2.3 Značení drsnosti

Drsnost povrchu, která se předepisuje na konkrétním výkrese, předepisuje norma ISO ČSN 1302. Tato norma předepisuje značení drsnosti, zápis parametrů struktury povrchu nebo také umístění značek pro požadovanou strukturu povrchu. [7]

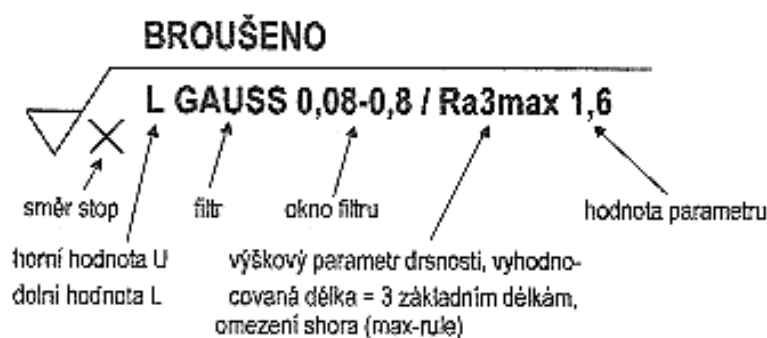


Obrázek 2.11 Příklady značení drsnosti dle normy ISO ČSN 1302 [7]

- a) základní značka neurčuje, jestli má být povrch obroben nebo ne,
- b) značka zakazuje odebrání materiálu, např. povrch ponechaný po válcování,
- c) jedná se o značku, která požaduje, aby povrch dosahoval požadované drsnosti příslušnou technologií například třískovým obráběním,
- d) značka je doplněná o „praporek“, nad který se v praxi zapisuje požadavek výrobního procesu,
- e) značka doplněná ve zlomu o kružnici malého průměru vyjadřuje požadavek stejné drsnosti po obvodu součásti, to znamená, že pokud máme čtyři plochy krychle, které mají být stejně obrobené, můžeme je označit pouze jednou značkou. [7]

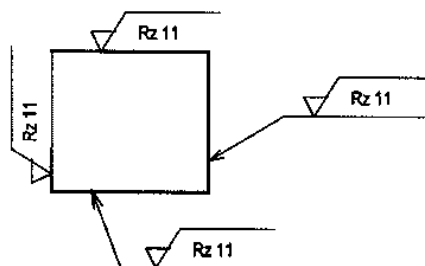
### 2.3.1 Příklady značení

Způsob zápisu se v mnoha oblastech velmi liší. Na obrázku 2.12 můžeme vidět praktický příklad pro zápis parametrů struktury povrchu s podrobným popisem jednotlivých parametrů, které se mohou vyskytovat v předepsané drsnosti, jako je například směr stopy, hodnota parametru nebo výškový parametr drsnosti. Dále můžeme sledovat na obrázku 2.13 předepsané umístování značek. V tomto případě nelze se současnou grafickou značkou otáčet, pokud má již předepsané hodnoty. Značka musí být umístěna podle obrázku a na výkresech musí být čtena zdola nebo zprava. Na obrázku 2.14 je uveden praktický příklad značení drsnosti povrchu. Tato značka je dána s požadavkem na obrobení povrchu s jednostranně předepsanou horní mezí  $R$ -profilu, kdy tato výška profilu drsnosti činí  $0,3\text{ }\mu\text{m}$ . Standardní přenosové pásmo a standardní vyhodnocovaná délka se rovná pěti základním délkám, standardní pravidlo 16 %. Na obrázku 2.15 se nachází viditelné značení drsnosti povrchu ovšem s oboustranně předepsanou dolní  $L$  a horní  $U$  mezí  $R$ -profilu. V tomto konkrétním případě bude výška profilu drsnosti  $0,9$  až  $3,1\text{ }\mu\text{m}$ . [7]



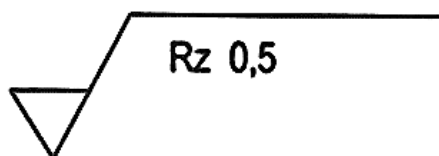
Obrázek 2.12 Zápis parametrů struktury povrchu [7]

Umístění značky na strojírenském výkresu předepisuje norma ISO ČSN 1302. Samotné značení příslušné drsnosti povrchu musí být umístěno na obrysovou čáru plochy, kdy hrot značky směřuje „do materiálu“. Značka je opatřena praporkem, na kterém se nachází odkazová čára, která je vedena od obrysu. Dalším umísťovacím příkladem může být označení pomocí kótovací čáry.[7]

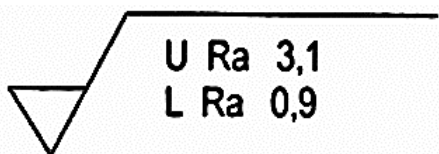


Obrázek 2.13 Umístění značek drsnosti na výkresech [7]

Značek, které označují požadovanou drsnost obrobenej plochy, je skutečně mnoho. Pokud praporek značky není ukončen, tak značka poukazuje na neobrobený povrch. Naproti tomu značky, které mají uzavřený praporek, označují vždy povrch, který je nutno obrobit. Pod odkazovou čarou se nachází konkrétní hodnota jmenovité drsnosti. Na obrázku 2.14 můžeme vidět praktický příklad značení drsnosti. Značka je uzavřená a pod odkazovou čarou se nachází hodnota jmenovité drsnosti povrchu  $R_z$ . Na dalším obrázku 2.15 si můžeme povšimnout, že pod odkazovou čarou jsou zaznamenány dvě hodnoty, které znázorňují horní profil  $U$  a dolní profil  $L$ . Obě dvě hodnoty mají opět předepsanou mez  $R$ -profilu.[7]



Obrázek 2.14 Příklad značení drsnosti [7]



Obrázek 2.15 Příklad značení drsnosti s dolním i horním profilem [7]

## **2.4 Měření drsnosti**

Pro měření drsnosti povrchu, můžeme využít širokou škálu metod a přístrojů. Kvalitativní hodnocení, které spočívá na smyslech měřícího pracovníka, dotykové profilometry, měření metodou světelného řezu nebo také měření s využitím interference světla.

### **2.4.1 Měření drsnosti pomocí kvalitativního hodnocení**

Metoda měření drsnosti pomocí kvalitativního hodnocení je založena na principu vyhodnocování pomocí lidských smyslů. Smyslem je porovnat daný povrch se vzorovým etalonem pomocí smyslů metrologa, jako je například hmat nebo zrak. Výjimkou nebývá použití různých optických pomůcek. Tato metoda je velmi ovlivněna schopností lidských smyslů, ale také i fyzikálními vlastnostmi použitých optických pomůcek, logicky vzrůstá při daném měření riziko nárůstu chyb. Jako optické pomůcky mohou sloužit například mikroskopy. Schopnost rozlišení při použití světelného mikroskopu je téměř  $1,0\text{ }\mu\text{m}$ . Oproti tomu například hmatem lze u dvou posuzovaných a totožných ploch obráběným stejným způsobem dosáhnout při měření rozdílu v drsnosti povrchu až na hodnotu  $0,10\text{ }\mu\text{m}$  střední aritmetické odchylky. [3,8,9]

### **2.4.2 Měření drsnosti povrchu pomocí dotykových profilometrů**

Princip měření drsnosti pomocí dotykových profilometrů spočívá ve způsobu měření, kdy se snažíme porovnávat kontrolovanou plochu se vzorovou plochou, kterou nazýváme etalonem. Výsledkem při tomto měření je rozdíl drsnosti porovnávaných povrchů. Do této metody můžeme zahrnout měřidla, jako jsou mechanické komparátory, pneumatické komparátory, pneumatické komparátory, elektrické komparátory nebo fotoelektrické komparátory. Metoda dotykových profilometrů umožňuje zjistit číselné hodnoty daných parametrů drsnosti. Tato metoda najde uplatnění v nejmodernějším statickém a spektrálním hodnocení drsnosti povrchu. [3,8,9]

#### **Popis mechanické části zařízení profilometru:**

- součástí zařízení je stolek, na který umístíme měřenou součást,
- snímací hrot upevněný na rameni, rameno se pohybuje určitou konstantní rychlostí a snímací hrot snímá nerovnosti povrchu,
- přímočaré vratné pohyby jsou zajištěny elektromotory nebo pneumaticky. [3,8,9]

## Popis elektronické části profilometru:

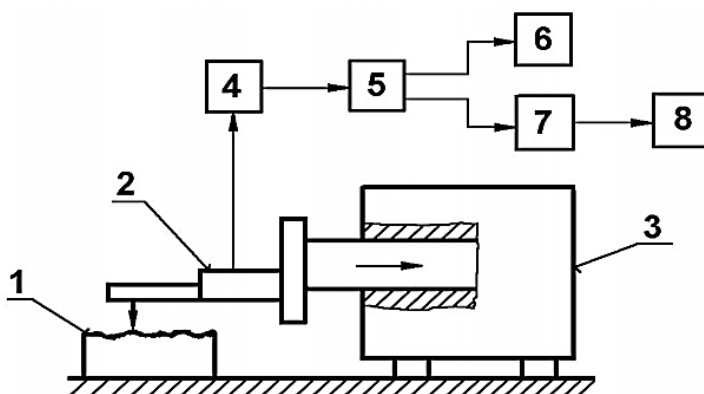
Je nutno transformovat mechanický signál, který je generován snímacím hrotem měřidla. Snímací hrot sleduje nerovnosti daného povrchu. Plochy, které zaznamená, převede na elektrický signál, který se později zpracovává a zapisuje buď číselně, nebo graficky. [3,8,9]

Převodníky pracují na principu piezoelektrickém, magnetoelektrickém, indukčním nebo interferometrickém. Samotný interferometrický převodník využívá laser pro bezdotykové snímání. [3,8,9]

Přesná, přímá nebo tvarová dráha snímače je považována za měřicí základnu. Jedná se o snímání absolutní, které určuje norma s označením ČSN EN ISO 4287. Pokud snímač provádí dráhu generovanou opěrnou patkou klouzající po měřením polotovaru, mluvíme o snímání relativním. [3,8,9]

Aby bylo možné zajistit kvalitní a přesné měření, je nutné klást nárok na přesnost a pohyb snímacího hrotu. Tento hrot musí být velmi přesný hlavně v přímém a rovnoměrném směru. Rychlost hrotu by měla být volena s ohledem na dynamické vlastnosti snímacího systému, aby nedošlo k poškození povrchu. Získaný profil je ovlivňován vlastnostmi snímacího systému. Výsledky měření jsou ovlivňovány těmito aspekty:

- a) vrcholovým úhlem snímacího hrotu, který může být  $60^\circ$  nebo  $90^\circ$ ,
- b) zaoblením snímacího hrotu, které může být  $2\text{ }\mu\text{m}$ ,  $5\text{ }\mu\text{m}$  nebo  $10\text{ }\mu\text{m}$ ,
- c) velikostí měřicí neboli přitlačné síly, která se pohybuje okolo  $0,00075\text{ N}$ ,
- d) změnou rychlosti měřicí neboli přitlačné síly,
- e) systémem snímače a jeho geometrickým uspořádáním. [3,8,9]

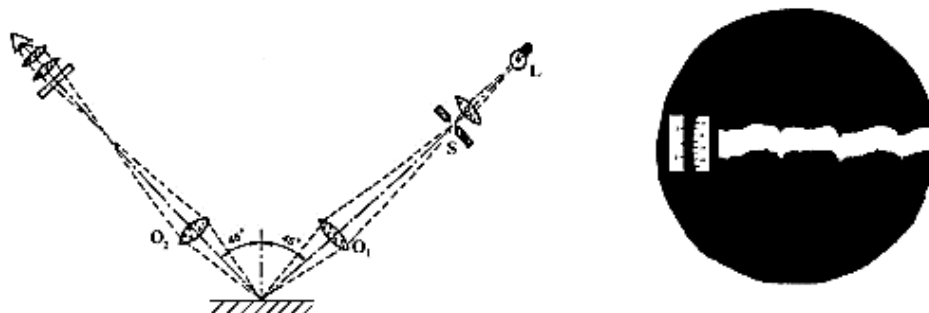


Obrázek 2.16 Princip měření dotykovým profilometrem [8]

1. měřená součást, 2. snímací hlavice s měřicím hrotem, 3. posuvový mechanismus,  
4. zesilovač, 5. filtr, 6. registrační jednotka, 7. jednotka zpracovávající měřicí signál,  
8. zobrazovací jednotka

### 2.4.3 Měření drsnosti pomocí metody světelného řezu

Pro měření drsnosti pomocí metody světelného řezu se nejčastěji používají dvojité mikroskopy, jako je například dvojitý mikroskop *Schmaltz*. Jedná se o velmi přesnou metodu pro měření drsnosti povrchu. Samotný princip této metody znázorňuje *obrázek 2.17*, na kterém můžeme vidět grafické znázornění metody světelného řezu a také výsledný pohled v okuláru přístroje. [3,8,9]



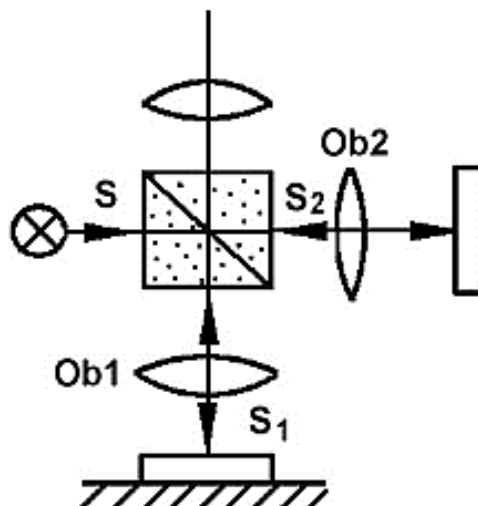
*Obrázek 2.17 Metoda světelného řezu, princip a okulár [8]*

Svazek paprsků procházející do okuláru je omezený šterbinou, která má tvar velmi tenké světelné roviny. Námi měřený objekt je poté promítán optickým systémem pod daným úhlem  $45^\circ$  na výsledný měřený povrch. Průnikem této roviny s nerovnostmi povrchu vzniká obraz profilu šikmého řezu nerovnosti plochy. Šikmý řez má obvykle tvar světlé zelené stužky nacházející se v tmavém poli mikroskopického obrazu. Dvojité mikroskopy mohou umožňovat volbu zvětšení a to především díky výměně příslušného objektivu a okuláru, ovšem rozsah použití těchto měřicích mikroskopů je značně omezený. [3,8,9]

### 2.4.4 Měření drsnosti pomocí interference světla

#### Princip měření klasickým interferenčním mikroskopem

- Ze zdroje světla vzniká paprsek *S*, paprsek se dopravuje na polopropustné zrcadlo nacházející se ve skleněném hranolu, zde se paprsek rozděluje na dva dílčí paprsky,
- paprsek *S1* putuje na povrch měřené součásti,
- paprsek *S2* putuje na odrazné zrcadlo,
- oba dílčí paprsky se spojí (interferují) a společně putují do okuláru mikroskopu,
- nároky jsou kladeny hlavně na shodnost obou objektivů označených *Ob1* a *Ob2*,
- vznikají interferenční proužky, které sledujeme v okuláru přístroje. [3,8,9]



Obrázek 2.18 Interferenční mikroskop [8]

- Pokud je plocha rovná, vznikají na okuláru stejnoměrné rovnoběžné proužky,
- je-li na povrchu rýha popřípadě jiná nerovnost, projeví se to na interferenčním obraze tak, že dojde k vychýlení proužků v tomto místě nerovnosti,
- vzdálenost proužků odpovídá změně klínové vrstvy o  $\lambda/2$  při kolmém dopadu světla a velmi malém úhlu klínu,
- známe-li vychýlení proužků  $\Delta L$  a vzdálenost interferenčních proužků  $L$ , pak velikost nerovnosti určíme dle následujícího vztahu:

$$R = \frac{\Delta L}{L} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (5)$$

- za hodnotu  $\lambda$ , považujeme vlnovou délku používaného světla,
- aby bylo docíleno získání ostřejších proužků, je nutno použití takzvané více paprskové interference. [3,8,9]









Obrázek 2.19 Obraz okuláru přístroje [8]

### 3 Geometrie hladicí VBD pro frézování

Výrazněji lepší drsnost povrchu můžeme dosáhnout za použití standartních břitových destiček společně s kombinací jedné anebo více hladicích destiček. Samotnou účinnost těchto hladicích destiček můžeme zvýšit vhodnou volbou řezných podmínek jako například zvýšením rychlosti posuvu  $f_{rev}$ . Větší rychlost posuvu  $f_{rev}$  ve spojení s větším průměrem frézy D, které obvykle mají velmi jemnou zubovou rozteč a také seřizovací mechanismus, má za následek zvětšení efektivity rovinného frézování. Samotný posuv na otáčku se může zvýšit přibližně čtyřikrát, aniž by došlo ke zhoršení kvality obráběné plochy. Hladicí vyměnitelné břitové destičky se používají také při frézování více rozměrných materiálů a dosahují velmi dobré struktury povrchu a to i za méně příznivých podmínek obrábění. [10]

Tabulka 3.1 Rozdělení obráběných materiálů dle ISO 513 [11]

 <p>Ocel</p>	<p><b>ISO P</b> - Oceli skupiny P lze rozdělit do skupin od nelegovaných až po vysokolegované materiály, můžeme zde zahrnout oceli na odlitky, feritické nebo martenzitické korozivzdorné oceli. Obrobitelnost u těchto materiálů je dobrá, i když se může značně lišit v závislosti na tvrdosti daného materiálu, nebo také obsahu uhlíku.</p>
 <p>Korozivzdorná ocel</p>	<p><b>ISO M</b> - Oceli skupiny M jsou korozivzdorné oceli s přísadou minimálně 12% chromu; další přísady tvoří nikl a molybden. Zvláštní skupinu pak tvoří různé druhy těchto materiálů, jako například feritické, martenzitické, austenitické a austeniticko-feritické (duplexní). Při obrábění jsou břitů vystaveny značnému množství tepla.</p>
 <p>Litina</p>	<p><b>ISO K</b> - Při obrábění litiny dochází ke tvorbě krátkých třísek. Obrábění temperované nebo šedé litiny není obtížné jako u obrábění kompaktní nebo izotermické kalené litiny. Všechny litiny obsahují velký podíl SiC, což velmi abrazivně působí na břit.</p>
 <p>Hliník</p>	<p><b>ISO N</b> - Skupina zahrnuje neželezné kovy, jako je hliník, měď nebo mosaz. Tyto kovy jsou značně měkké. Hliník obsahuje 13% Si a je velice abrazivní. Pro obrábění se používají VBD s ostrými břitů, kde je nutné použít vysoké řezné rychlosti kvůli prodloužení životnosti nástroje.</p>
 <p>Žárovzdorné slitiny</p>	<p><b>ISO S</b> - Do žárovzdorných slitin můžeme zahrnout vysokolegované ocele a materiály na bázi niklu, titanu nebo kobaltu. Materiály často při obrábění ulpívají na břitu nástroje, kde tvoří nárůstky. Při obrábění vzniká velký nárůst tepla. Materiály skupiny S mají velmi podobné vlastnosti jako materiály skupiny ISO M, bohužel obrábění je složitější a životnost nástrojů prudce klesá.</p>
 <p>Tvrzená ocel</p>	<p><b>ISO H</b> - Skupina H obsahuje oceli značně tvrdé. Tvrdost ocelí se pohybuje v rozmezí 45 - 65 HRC. Můžeme zde zahrnout i tvrzené litiny s tvrdostí 400 - 600 HB. Díky tvrdosti jsou materiály velmi těžce obrobitelné a při obrábění dochází k velkému nárůstu tepla. Na břit nástroje působí materiál velmi abrazivně.</p>

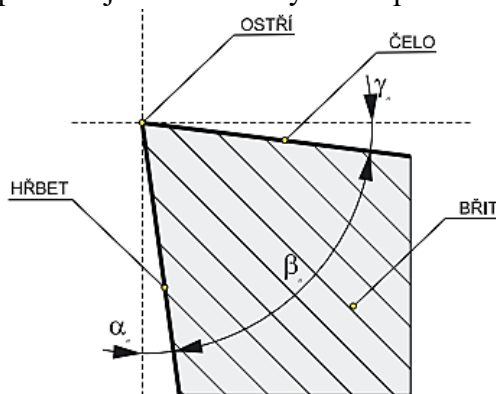


### 3.1 Volba vhodné VBD pro frézování

Vyměnitelné břitové destičky pro frézování jsou od výrobce dodávány v širokém zastoupení různých typů a v různém provedení příslušných geometrií břitu. Volbou správného břitu a úpravou jeho geometrie je možné prodloužit jeho životnost. Především kvůli životnosti nástrojů jsou na vyměnitelné břitové destičky kladeny specifické nároky. Základní vyměnitelné břitové destičky můžeme rozdělit na ostré břity, břity s fazetkou, břity s rektifikovaným ostřím a břity s rektifikovanou fazetkou. Materiál, který se používá, pro výrobu těchto vyměnitelných břitových destiček, se volí v souladu s normou ISO 513. [12]

#### 3.1.1 Ostrý břit

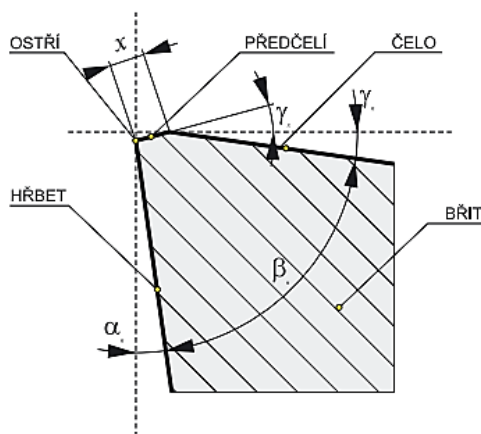
Ostrý břit se zpravidla u vyměnitelných břitových destiček používá pro frézování slitin hliníku. U tohoto břitu dochází k nízkým deformacím obráběné vrstvy. Vyměnitelná břitová destička tohoto typu snižuje úroveň řezných sil společně s tvorbou nárůstku. [12]



Obrázek 3.1 Ostrý břit [12]

#### 3.1.2 Břit s fazetkou

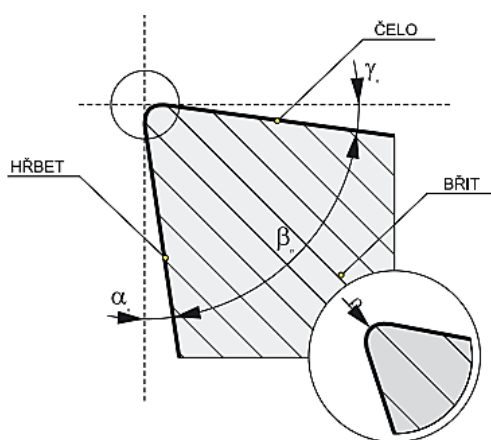
Břit je opatřen fazetkou, která má určitou šířku „ $x$ “ a úhel  $\gamma_x$ . Úhel břitu  $\gamma_n$  se zvětšuje, díky tomu lze zvýšit pevnost daného ostří, respektive odolnost proti mechanickému namáhání. Odolnost břitu vůči křehkému lomu bohužel roste. V dnešní době se břit opatřený fazetkou moc často nepoužívá, bývá obvykle nahrazen břitem v provedení „S“. [12]



Obrázek 3.2 Břit s fazetkou (předčelím) [12]

### 3.1.3 Břit s rektifikovaným ostřím

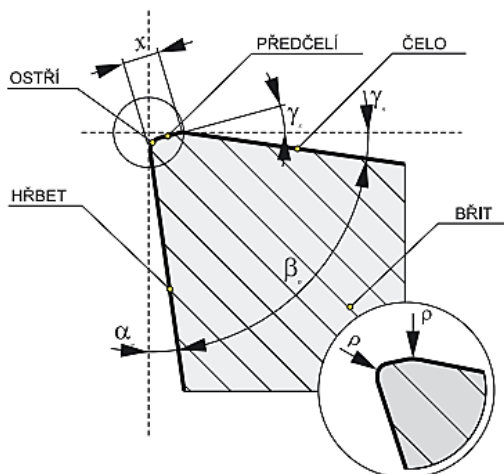
Břit s rektifikovaným ostřím je vyroben s mírným zaoblením svého ostří. Toto zaoblení se používá především kvůli snížení mikro nerovnosti řezné hrany. Takzvaná rektifikace ostří, která je prováděna pod určitým úhlem  $\rho$ , má za následek zvýšení odolnosti břitu vůči mechanickému porušení jeho řezné hrany. Kvůli dobré odolnosti vůči křehkému lomu se úprava břitu používá v dnešní době téměř u všech vyměnitelných břitových destiček bez fazetky. Díky tomu lze břit opatřený touto úpravou použít téměř na všechny známé materiály. Praktickým příkladem rektifikovaného ostří jsou například hladicí vyměnitelné břitové destičky, které se používají pro obrábění materiálu, u kterých záleží na kvalitě obrobené plochy. [12]



Obrázek 3.3 Rektifikované ostří [12]

### 3.1.4 Rektifikovaný břit s fazetkou

Další a poslední úpravou vyměnitelných břitových destiček je provedení rektifikovaných břitů, které jsou ještě opatřeny fazetkou. Jedná se o nejlepší kombinaci úprav a to především kvůli tomu, že břit lze považovat za nejvíce odolný, především proti mechanickému namáhání. [12]



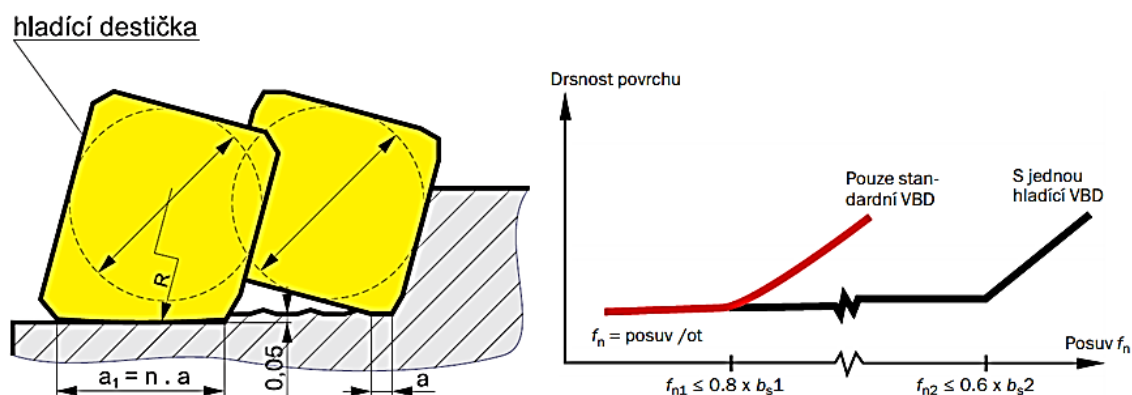
Obrázek 3.4 Fazetkové ostří rektifikované [12]

### 3.2 Hladící břit VBD

Pokud chceme dosáhnout velké kvality obrobeného povrchu, musíme použít vyměnitelnou břitovou destičku opatřenou hladícím břitem. Z pravidla k tomu dochází tehdy, když u standardní břitové destičky přesáhne  $f_n = 80\%$  z délky paralelního zábřitu. Frézy o velkém průměru a s větším počtem zubů zvyšují svůj posuv na otáčku  $f_n$ , tím pádem se zhoršuje kvalita obrobeného povrchu a použití vyměnitelné břitové destičky, která je opatřena hladícím břitem popřípadě břity, je tudíž na místě. [13, 14]

Při frézování velkým posuvem přestává být přechodová fazetka destičky efektivní. Fazetka není mnohdy schopná zaručit požadovaný stupeň jakosti obráběného povrchu. Aby bylo možné docílit přijatelné drsnosti povrchu, musíme docílit přesného nastavení všech břitů v tělese frézy. K přesnému nastavení slouží v dnešní době speciální nástroje, které dokáží axiálně přestavit břity vyměnitelných břitových destiček. [13, 14]

Dnešní frézy jsou opatřeny lůžky pro upevnění břitových destiček. Lůžka jsou mnohdy velmi přesná a díky tomu lze použít hladící vyměnitelné břitové destičky. Oproti standardním destičkám mají širší fazetku, která ve srovnání se standardními destičkami je axiálně vysunuta. Díky tomu lze dosáhnout hladkého opracovaného povrchu. [13, 14]



Obrázek 3.5 Uložení standardní a hladící VBD [13,14]

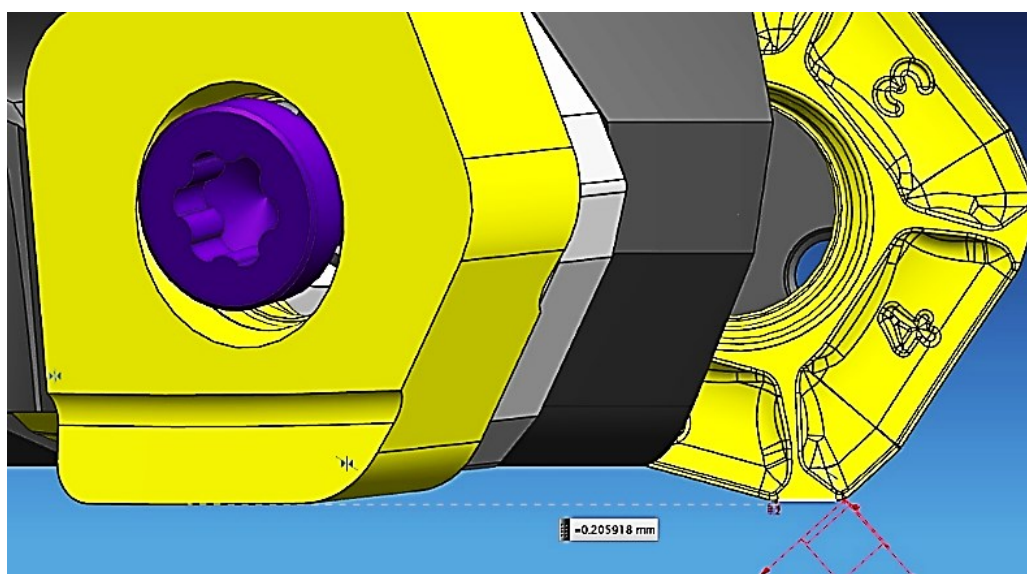
Axiální vysunutí má za následek zvýšení házivosti frézy. Ovšem velikost tohoto házení závisí také na velikosti frézy, upnutí frézy a také na přesnosti upnutí jejího nastavení. Všechny tyto aspekty ovlivňují vlnitost obráběné plochy. Předsunutá hladící břitová destička vyrovnává tyto účinky a tím vytváří rovný povrch, ovšem musí být zaručeno, že posuv na otáčku nepřekročí 60 % z délky hladícího břitu. [13, 14]

Hladící destičky se používají pro frézování materiálů, které jsou schopny vytvořit krátkou třísku. Špatný odvod třísky může zapříčinit nežádoucí vibrace. Opatření břitů je poté větší než u hrubovacích břitových destiček. [13, 14].

### 3.3 Geometrie hladicích VBD XNGX 1308DNSN

Byly vyrobeny celkem tři prototypové sady hladicích VBD. Tyto destičky nesou označení XNGX 1308DNSN. Sady hladicích destiček jsou odlišeny prototypovým číslem XNGX 1308DNSN-P01, XNGX 1308DNSN-P02 a XNGX 1308DNSN-P03, které se vzájemně liší rozdílnou geometrií svého hlavního břitu. Jednotlivé geometrie hladicích VBD se vzájemně liší především velikostí zaoblení hladicího břitu, respektive v zaoblení řezné hrany. Hladicí břity jsou rektifikovány, kdy prototypová vyměnitelná břitová destička XNGX 1308DNSN-P01 má zaoblení řezné hrany  $30\text{ }\mu\text{m}$ . U VBD spadajících do prototypové sady XNGX 1308DNSN-P02 bylo zhotoveno zaoblení řezné hrany na  $50\text{ }\mu\text{m}$ . Jako poslední z prototypových sad byla zhotovena sada nesoucí označení XNGX 1308DNSN-P03. Břitové destičky patřící do této sady byly opatřeny zaoblením řezné hrany na  $70\text{ }\mu\text{m}$ .

Samotná hladicí destička disponuje dvěma hladicími segmenty. Délka hladicího segmentu činí  $12,7\text{ mm}$ . Hladicí břit má celkovou délku  $5\text{ mm}$ . Pokud odečteme vzniklý rádius  $1,5\text{ mm}$ , dojdeme k závěru, že doporučená maximální hloubka řezu  $a_p$  bude  $3,5\text{ mm}$ . Hlavní řezná hrana destiček je negativní  $0^\circ$ , protože destička je radiálně zasunuta směrem k rotaci nástroje. Její radiální zasunutí má hodnotu  $0,2\text{ mm}$ . Vedlejší řezná hrana destičky, v našem případě je to hladicí břit, má pozitivní geometrii se sklonem ostří  $10^\circ$ . Na *obrázku 3.6* můžeme vidět grafický model hladicí VBD XNGX 1308DNSN společně s destičkou PNMU 1308DNSR-M. Axiální vychýlení těchto dvou VBD činí  $0,205\text{ mm}$ . Vepsaná kružnice hladicí destičky XNGX 1308DNSN má hodnotu  $24,18\text{ mm}$ , přičemž šířka hladicí VBD činí  $7,94\text{ mm}$ . Samotný hladicí břit není zcela rovný, ale tvoří ho rádius o poloměru  $d=400\text{ mm}$ .



Obrázek 3.6 Axiální vychýlení hladicí destičky [15]

### 3.4 Výroba hladicí VBD XNGX 1308DNSN

Samotná výroba prototypové hladicí destičky řady XNGX 1308DNSN začíná v přípravě surovin, konkrétně karbidových a pojivových kovů. Slinutý karbid je tvořen hlavní řeznou složkou, která se skládá z kobaltu a niklu. Složení slinutého karbidu má výrazný význam v samotné výrobě vyměnitelné břitové destičky, kdy jeho přesné složení udává finální destičce požadovanou tvrdost. [15]

Pokud jsou suroviny řádně připraveny, nastává nadávkování a navážení. Vzniká směs, kterou je zapotřebí homogenizovat. Homogenizace vzniká přidáním kapaliny do vzniklé směsi. Složitým mícháním směsi dochází k homogenizačnímu procesu, po procesu míchání je nutné vzniklou hmotu vysušit. [15]

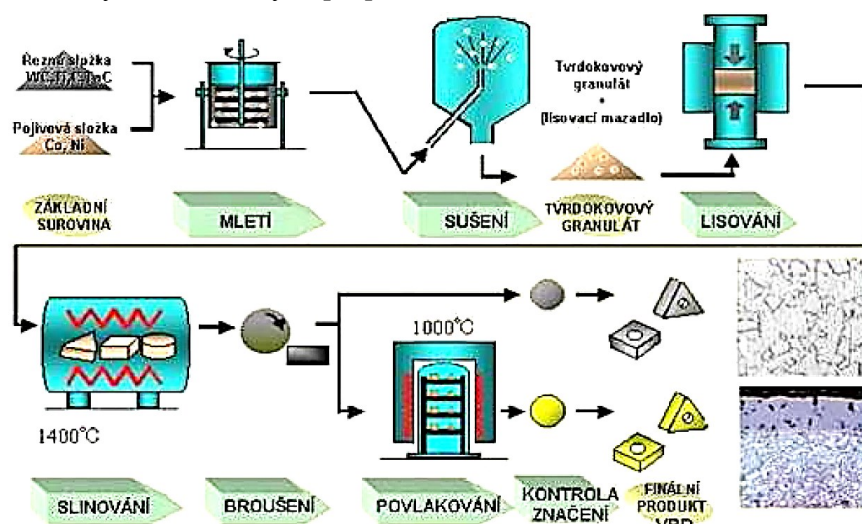
Vzniklá hmota je nadále vstříknuta do připravené nádoby, ve které je dále promíchávána. Pokud by hmota nebyla promíchávána, mohlo by dojít k její sedimentaci na povrchu této nádoby. Za stálého míchání se směs vstříkuje do sušících věžích. V těchto konkrétních věžích se vzniklý tvrdokovový prach suší interním plynem, prach je dále zachytáván do zásobníků. Vzniklý materiál je později ze zásobníků vyjmut, zabalen a distribuován zákazníkům po celém světě. Do České republiky je prášek dovážen externí společností, která se specializuje na výrobu tohoto prášku. [15]

Nastává samotná výroba vyměnitelných břitových destiček. Hotový finální materiál musí projít lisovacím cyklem. Lisovací proces má přesně dané výrobní množství lisovacího materiálu. Při výrobě hladicích destiček řady XNGX 1308DNSN toto množství řídí a kontroluje automatizovaný stroj TPA 15. Připravená lisovací směs je do stroje dodávána pomocí násypníku umístěného na lisovacím stroji. Následně dochází k pohybu razníků proti sobě a tím dochází k procesu lisování. Razník umístěný na spodní části lisovacího zařízení vysune polotovar destičky z matrice. Destička je následně odebrána operátorem lisovacího zařízení. [15]

Po lisování nastává kritická fáze výrobního procesu. Slinováním provádíme změnu pórovitého prášku na předem konkrétní výrobek. Dochází zde ke značnému a velkému zhutnění materiálu slinutého karbidu, příčinou je proces rekrystalizace vzniklých karbidických zrn přes roztavený kobalt. Tento proces musí být prováděn ve speciálních pecích opatřených vakuem a teplotou až 1410 °C. Slinovací proces je velmi časově náročný, kdy slinování může trvat až několik hodin. Po vyjmutí polotovaru ze slinovací pece dostáváme díl, který už má požadované mechanické vlastnosti. [15]

Další fází výroby těchto destiček je broušení dosedacích ploch a broušení obvodových ploch. Hřbetní obvodové plochy destičky se brousí na jedno upnutí a to i včetně přechodových rádiusů. [15]

U velké většiny břitových destiček zejména pak při hladicích VBD se provádí rektifikované zaoblení břitu. Rektifikované zaoblení je možno provést dvěma způsoby. První způsob se provádí tzv. kartáčováním řezné hrany, u kterého se řezná hrana zaoblí pomocí rotačních kartáčů. Druhým způsobem je pískování, řezná plocha je vybrušována pomocí brusných segmentů za pomoci tlaku. Námi konkrétní hladicí VBD jsou opatřeny rektifikovaným zaoblením řezné hrany pomocí přístroje Sinjet viz kapitola 3.5. Po zaoblení řezné hrany destičky nastává omytí. [15]



Obrázek 3.7 Schematický postup výroby VBD [15]

Další fází je povlakování, při kterém dochází k nanášení ochranné vrstvy. Tato vrstva má za úkol zvýšit mechanické vlastnosti destiček. U destiček XNGX 1308DNSN se používá PVD povlak (*Physical vapour deposition*). Tento proces povlakování se provádí ve vakuu za nízkých teplot okolo 450 °C. Při zahřátí je materiál nucen se odpařovat a pomocí elektrického oblouku, svazkem elektronů nebo odporovým ohřevem je povlak nanášen. [15]

Při nanesení povlaku je samotný proces výroby destiček ve své podstatě ukončen. Dalšími úkony výrobního procesu je kontrola měření zaoblení řezných hran, rádiusů a rozměry samotné vyměnitelné břitové destičky. Následuje značení vyměnitelných břitových destiček, kdy na každou krabičku jsou sepsána data obsahující kód příslušné destičky. S tímto kódovým označením jsou destičky baleny a následně uskladňovány v meziskladech, kde čekají na svou expedici k zákazníkovi. Výrobní postup, který je popisován v této kapitole, můžeme vidět na obrázku 3.7, který schematicky popisuje samotnou výrobu vyměnitelných břitových destiček. [15]



### 3.5 Zaoblení řezné hrany hladící VBD XNGX 1308DNSN

Vyměnitelné břitové destičky XNGX 1308DNSN se rozlišují především svým zaoblením řezné hrany. Tento proces se ve společnosti Dormer Pramet provádí na stroji nazývaný Sinjet IMX 12. Ve své podstatě se jedná o nejproduktivnější způsob zaoblování řezných hran. K zaoblování dochází pomocí kartáčů, které jsou chlazeny vodou. Samotná hrubost zaoblovacích kartáčů se dá měnit v širokém rozmezí od 80 K až do 120 K. [15]

Výsledný povrch, který vzniká při procesu kartáčování, může být jednoduše zaměněn s povrchem po mokřém pískování, ovšem s tím rozdílem, že u kartáčování vznikají vlivem tření drobné rýhy. Výroba zaoblení řezné hrany začíná umístěním vyměnitelných břitových destiček do přípravku. Nad tímto přípravkem, ve kterém jsou upevněny vyměnitelné destičky, jsou umístěny dva válcové kartáče. Samotná drsnost kartáčů se dá libovolně měnit, dle toho jakého zaoblení chceme docílit. Princip zaoblení je velmi jednoduchý. Kartáče, které konají rotační pohyb, působí na řeznou hranu vyměnitelné břitové destičky. Vlivem tření těchto kartáčů je řezná hrana zaoblována. [15]

Samotný proces zaoblování řezných hran vyměnitelných břitových destiček, nazýváme rektifikace. K rektifikaci jsou nejvíce vhodné ty břitové destičky, jejichž břit leží v jedné rovině. Rektifikace značí nejnížší drsnost řezné hrany. Jedná se o nejrychlejší způsob zaoblení VBD. Velkou výhodou rektifikace ostří je možnost dosahovat největších hodnot velikosti zaoblení a to až na 100  $\mu\text{m}$ . Na *obrázku 3.8* můžeme vidět stroj společnosti Dormer Pramet, určený pro rektifikaci řezné hrany VBD. [15]



Obrázek 3.8 Sinjet IMX 12 [15]

## 4 Diskuse experimentů

V praktické části se budeme zabývat experimentálními zkouškami, kde budou zkoumány drsnosti povrchu obráběných ploch. Funkční zkoušky budou zaměřeny na ověření funkčních vlastností vyměnitelných břitových destiček řady XNGX 1308 DNSN, tj. všech prototypových sad s označením XNGX 1308DNSN-P01, XNGX 1308DNSN-P02 a XNGX 1308DNSN-P03. Všechny zkoušky budou prováděny na totožném frézovacím centru FCV 63 SCA a materiálu C45 (ČSN 12050.1). Zkoušky zaměřené na trvanlivost břitové destičky budou dále testovány na oceli C45 (ČSN 12050.9) a nástrojové oceli X37CrMoV5-1 (ČSN 19552). Všechny testy budou prováděny ve zkušebním oddělení společnosti Dormer Pramet, kde firma testuje všechny nové nástroje před samotným zařazením do sortimentu.

Cílem těchto zkoušek bude vyhodnocení nejvhodnější geometrie vyměnitelné břitové destičky, která bude splňovat ideální požadavky na drsnost obrobeného povrchu společně s přijatelnou trvanlivostí řezné hrany.

### 4.1 Nástroje Dormer Pramet

Pro experimentální zkoušky, byly zvoleny standardní hrubovací destičky s typovým označením PNMU 1308DNSR-M. Společně s hladíci vyměnitelnými břitovými destičkami nesoucí označení XNGX 1308DNSN budou upnuty do standartní frézy řady Penta HD s kódovým označením 160C08R-S57PN13 o jmenovitém průměru 160 mm.

#### 4.1.1 Testované VBD PNMU 1308DNSR-M a hladíci XNGX 1308 DNSN

Vyměnitelné břitové destičky řady PNMU 1308DNSR-M se používají pro hrubovací operace. Tyto destičky disponují až desíti řeznými hranami a jsou vyrobeny z materiálu 8230.

Materiál pro výrobu vyměnitelných břitových destiček 8230 je velmi výkonný a zaručuje destičce vysokou spolehlivost. Na vyměnitelné břitové destičky jsou kladeny nároky především na otěruvzdornost břitu, proto jsou destičky vyrobeny právě z tohoto řezného materiálu, který tyto požadavky zaručuje.

Destičky z tohoto materiálu se používají pro frézování standardních ocelových materiálů, litin, žárupevných litin, korozivzdorných ocelí, zušlechťených nebo například kalených ocelí. Základní složkou materiálu 8230 je jemný wolframový karbid, který obsahuje 10 % kobaltu. Destička je dále opatřena fazetkou o délce 0,25 mm, která je utvořena pozitivně v úhlu 16° a její utvařecí třísky má 9°sklon.





*Obrázek 4.1 Vyměnitelné břitové destičky PNMU 1308DNSR-M*

Hladicí vyměnitelné břitové destičky byly oproti destičkám PNMU 1308DNSR-M vyrobeny ve třech variantách s rozdílným zaoblením řezné hrany. Jedná se o destičky prototypové výroby s označením XNGX 1308DNSN-P01, kdy tato destička má zaoblení řezné hrany  $(30 \pm 7) \mu\text{m}$ , XNGX 1308DNSN-P02 se zaoblením  $(50 \pm 10) \mu\text{m}$  a XNGX 1308DNSN-P03 se zaoblením řezné hrany  $(70 \pm 10) \mu\text{m}$ . Výroba hladicích VBD ve velmi malé toleranci zaoblení řezné hrany zaručuje přesné odebírání materiálu. Vyměnitelné břitové destičky XNGX 1308DNSN-P01, XNGX 1308DNSN-P02 a také XNGX 1308DNSN-P03 mají pozitivní geometrii hladicího břitu se sklonem ostří  $10^\circ$ . Hladicí břit neobsahuje fazetku, jeho ostří bylo rektifikováno (zaobleno).

Hlavní řezná hrana VBD má negativní geometrii břitu  $0^\circ$ . Destičky jsou vyrobeny z nového materiálu M8330, který je náhradou materiálu 8230. Destičky jsou opatřeny PVD povlakem. Tento povlak zaručuje lepší otěruvzdornost břitu a prodlužuje jeho životnost. Na *obrázku 4.2* můžeme vidět VBD XNGX 1308DNSN-P01, XNGX 1308DNSN-P02 a XNGX 1308DNSN-P03.



*Obrázek 4.2 Vyměnitelné břitové destičky XNGX 1308DNSN-P01, P02 a P03*

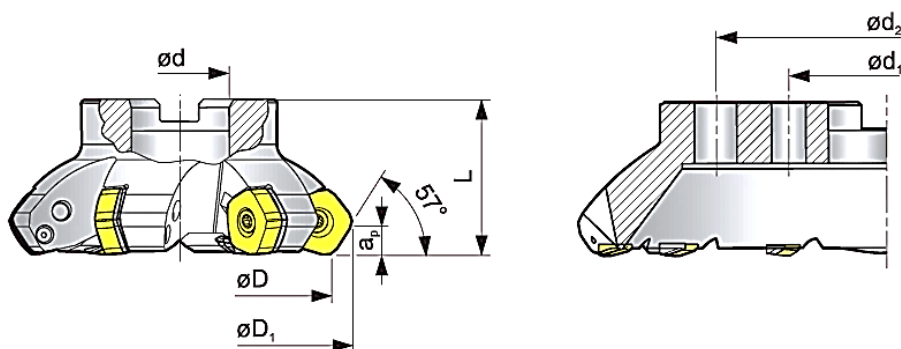
#### 4.1.2 Frézovací nástroj 160C08R-S57PN13

Pro námi provedený experiment byla použita fréza řady S57PN13 s označením 160C08R-S57PN13, kterou můžeme vidět na *obrázku 4.3*. Rovinné frézy řady S57PN13 se používá pro hrubování a rovinné frézování s maximální přípustnou hloubkou řezu  $a_{pmax}$  do 10,0 mm. Samotná fréza je opatřena úhlem nastavení ostří  $\kappa_r$  57° a axiálním úhlem čela  $\gamma_p$  - 4°. Tyto frézy se vzájemně liší počtem zubů a také svými jmenovitými průměry, které se pohybují od 100,0 mm až po 315,0 mm. Fréza 160C08R-S57PN13 je určena pro obrábění materiálů skupin P, M, K, H.

Pro testování hladících destiček XNGX 1308DNSN byl zvolen nástroj o jmenovitém průměru  $D=160$  mm. Celkový průměr frézy „ $D_1$ “, činí 175,8 mm. Nástroj je opatřen osmi zuby, které slouží pro upnutí vyměnitelných břitových destiček. Destičky jsou upnuty do lůžek pomocí šroubu M8. Takto upnuté destičky se v lůžku frézy opírají o podložku s typovým označením SPN 13T3DN, která je rovněž vyrobena ze slinutého karbidu a přichycena šroubem M4. Samotný způsob uložení vyměnitelných břitových destiček společně s utažením šroubů je předepisován výrobcem a uváděn v katalogu nabízeného nástroje. Krouticí moment pro dotažení těchto šroubů je předepsán na hodnotu 15 Nm. Pro upnutí do sklíčidla je fréza opatřena minimálním uložením o průměru „ $d$ “ 40 mm. Nabízený sortiment těchto nástrojů je velmi široký. Frézy se vyrábí s odlišným počtem zubů a také svými jmenovitými průměry. Podle typu nástroje jsou od výrobce předepsány optimální řezné podmínky jako například otáčky.



Obrázek 4.3 Fréza 160C08R-S57PN13



Obrázek 4.4 Parametry frézy 160C08R-S57PN13 [15]

Tabulka 4.1 Základní rozměry frézy 160C08R-S57PN13 [15]

Název	D [mm]	D <sub>1</sub> [mm]	L [mm]	D [mm]	d <sub>1</sub> [mm]	Z [-]
Hodnota	160	175,8	63	40	66,7	8

Frézovací nástroje řady S57PN13 se osazují standardními hrubovacími břitovými destičkami PNMU 1308DNSR-M nebo PNMQ 1308DNSN. Výsledný rozdíl těchto vyměnitelných břitových destiček spočívá v jejich rozdílné geometrii. Vyměnitelné břitové destičky PNMQ 1308DNSN jsou opatřeny negativní fazetkou o šířce 0,57 mm, pod úhlem 15°. Oproti tomu PNMU 1308DNSR-M mají menší fazetku o celkové délce 0,25 mm pod úhlem 9° a úhlem čela 16°. V tabulce 4.2 můžeme vidět jednotlivé hrubovací destičky s příslušným označením a jmenovitými hodnotami. V tabulce 4.2 je dále zobrazen náčrt vyměnitelných břitových destiček společně se zobrazením jejich geometrie.

Tabulka 4.2 VBD PNMQ 1308DNSN a PNMU 1308DNSR-M[15]

PNMQ 1308DNSN					PNMU 1308DNSR-M				
a[mm]	b[mm]	d <sub>1</sub> [mm]	l[mm]	s[mm]	a[mm]	b[mm]	d <sub>1</sub> [mm]	l[mm]	s[mm]
3,00	24,40	10,00	13,00	7,94	3,00	24,40	10,00	13,00	7,94

V našem případě bude fréza osazena sedmi hrubovacími destičkami PNMU 1308DNSR-M a jednou hladicí destičkou XNGX 1308DNSN, které jsou popsány v kapitole 4.1.1. Společnost dodává k frézám Penta HD kompletní příslušenství pro upnutí vyměnitelných břitových destiček včetně přípravku. V následujících kapitolách budou hladicí destičky podrobeny funkčním zkouškám a zkouškám na trvanlivost na tomto konkrétním nástroji.

## 4.2 Funkční zkoušky obrábění na oceli C45 (ČSN 12050.1).

Testovací hladicí destička XNGX 1308DNSN bude podrobena funkčním zkouškám na oceli C45 (ČSN 12050.1). V prvotní fázi bude nutné definovat zvolený materiál a stanovit řezné podmínky, při nichž budou zkoušky prováděny.

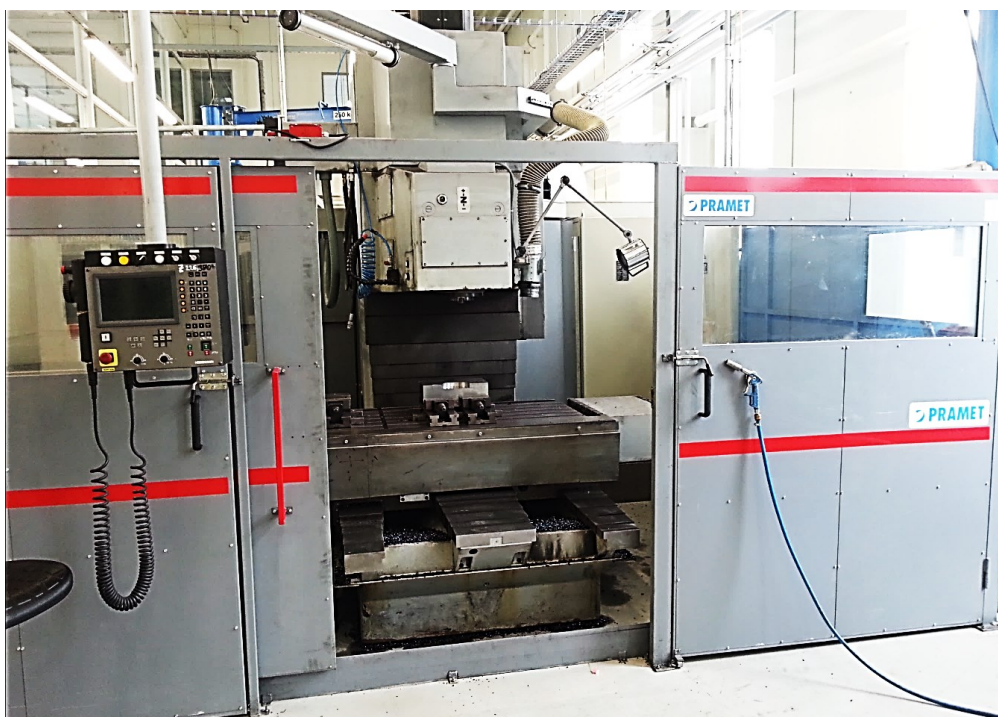
Samotným principem těchto funkčních zkoušek, bude sledování funkčnosti a ořezuvzdornosti nástroje v řezu. Při průběhu funkčních zkoušek obrábění bude také naší prioritou sledování jakosti obráběného materiálu. Cíl experimentálních zkoušek se soustředil především na ověření hladicí vyměnitelné břitové destičky XNGX 1308DNSN v různých podmínkách frézování. Proměnlivě budou měněny parametry, především axiální hloubka řezu  $a_p$ , posuv na zub  $f_z$ , a také řezná rychlost  $v_c$ . V prvotní fázi zkoušek bude zapotřebí ustavit vyměnitelné břitové destičky PNMU 1308DNSR-M i hladicí destičky XNGX 1308DNSN za pomoci vertikálního seřizovacího přístroje BMD 465v, viz kapitola 4.2.4. Ustavení se provádí z důvodu objektivnosti měření. Při každé změně těchto parametrů bude provedeno měření drsnosti obrobeného povrchu.

Funkční zkoušky zaměřené na drsnost obrobeného povrchu budou prováděny na horizontálním centru FCV 63 SCA, který je uveden v kapitole 4.2.1. Obráběným materiálem bude zvolen referenční materiál C45 (ČSN 12050.1), který je společností Dormer Pramet určen k funkčním zkouškám nástrojů. Veškeré zkoušky proběhnou za použití přesně zvolených řezných podmínek uvedených v kapitole 4.2.3.

### 4.2.1 Frézovací centrum FCV 63 SCA

Pro operaci rovinného frézování slouží ve společnosti Dormer Pramet frézovací centrum CNC-FCV 63 SCA, které je nezbytnou součástí vývojového centra. Stroj je ovládán operátorem pomocí řídicího systému Heidenhain TNC 310. Horizontální frézovací centrum je opatřené oplechováním, které zajišťuje vysokou bezpečnost při určitých experimentálních zkouškách. Společnost Dormer Pramet využívá stroj FCV 63 SCA k testování, nových nástrojů v oblasti rovinného frézování. Na obrázku 4.5 můžeme vidět konkrétní frézovací centrum FCV 63 SCA, které je mimo jiné opatřené odsáváním přebytečných třísek z místa řezu z důvodu objektivnosti měření. V následující tabulce 4.3 jsou uvedeny veškeré technické parametry. Podélný pracovní zdvih centra v ose „x“ má maximální hodnotu 1500 mm, příčný zdvih v ose „y“ a svislý pracovní zdvih stroje v ose „z“ je ustálen výrobcem na hodnotu 630 mm.





Obrázek 4.5 Frézovací centrum FCV 63 SCA

Tabulka 4.3 Technické parametry FCV 63 SCA

Název	Hodnota
Výrobce obráběcího stroje	Goos s.r.o. Kuřim
Typ obráběcího stroje	FCV 63 SCA
Maximální otáčky vřetene	3000 ot · min <sup>-1</sup>
Řídicí systém obráběcího stroje	Heidenhain TNC 310
Maximální výkon vřetene	32 kW

#### 4.2.2 Vlastnosti materiálu C45 (ČSN 12050.1) a X37CrMoV5-1 (ČSN 19552)

Materiál C45 (ČSN 12050.1) slouží jako referenční materiál, jenž se ve společnosti Dormer Pramet používá k porovnávacím a vyhodnocovacím zkouškám, které jsou zaměřeny na obrobitelnosti nebo řezivosti nástrojů.

Jedná se o nelegovanou uhlíkatou ocel určenou k zušlechťování vhodnou na výrobu hřídelů těžních strojů, turbokompresorů, karuselů a podobně. Tato ocel bývá často ve stavu zušlechtěném nebo normalizačně žíhaném používána pro výrobu méně namáhaných dílů ve strojírenství. Těch neoptimálnějších mechanických podmínek, společně s houževnatostí, dosahuje v zakaleném a popouštěném stavu. Pokud se ocel používá pro tvarově složité dílce, je nutné zabránit vzniku trhlin, výrobce doporučuje kalení do oleje. Ocel nabízí skvělé vlastnosti a díky tomu je vhodná také k povrchovému kalení buďto plamenem, anebo indukcí. Ocel zaručuje výbornou obrobitelnost třískovým obráběním. Tato obrobitelnost může být zhoršena za předpokladu, že ocel bude válcovaná. V následujících *tabulce 4.4* a *tabulce 4.5* jsou uvedeny mechanické vlastnosti společně s chemickým složením oceli. [16,17]

Tabulka 4.4 Mechanické vlastnosti materiálu C45 (ČSN 12050.1) [16,17]

Mechanické vlastnosti materiálu C45 (ČSN 12050.1)	
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	640 - 780
Mez kluzu $R_e$ [MPa]	390
Maximální tvrdost HB	max. 200

Tabulka 4.5 Chemické složení materiálu C45 (ČSN 12050.1) [16,17]

Chemické složení materiálu C45 (ČSN 12050.1)			
C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]
0,42 – 0,50	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	max. 0,040
S [%]	Cr [%]	Ni [%]	Cu [%]
max. 0,040	max. 0,250	max. 0,30	max. 0,30



Obrázek 4.6 Materiál ocel C45 (ČSN 12050.1)

Materiál X37CrMoV5-1 (ČSN 19552) je nástrojová ocel vhodná pro velmi namáhané nástroje, které pracují za zvýšených teplot. Těmito nástroji mohou být například lisovací trny a matice, nástroje na protlačování, nástroje pro výrobu šroubů a matic atd. Ocel se vyznačuje svou houževnatostí a velkou odolností při tepelném zatěžování. Ocel X37CrMoV5-1 (ČSN 19552) velmi dobře snáší teplotní rázy. Díky své tvrdosti se špatně brousí, ale dobře prokaluje a to i ve větších rozměrech. Ocel se nemusí používat pouze pro nástroje, ale také pro výrobu forem na plasty nebo například pro výrobu nožů pro stříhání. Nástrojová ocel se dále vyznačuje svou dobrou obrobiteľností a leštitelností. V následující tabulce 4.6 se nachází mechanické vlastnosti materiálu X37CrMoV5-1 (ČSN 19552). V tabulce 4.7 můžeme vidět chemické složení nástrojové oceli. [18,19]

Tabulka 4.6 Mechanické vlastnosti materiálu X37CrMoV5-1 (ČSN 19552) [18,19]

Mechanické vlastnosti materiálu X37CrMoV5-1 (ČSN 19552)	
Mez pevnosti $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	1200
Mez kluzu $R_{p0,2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	1060
Maximální tvrdost HB	max. 310

Tabulka 4.7 Chemické složení materiálu X37CrMoV5-1 (ČSN 19552) [18,19]

Chemické složení materiálu X37CrMoV5-1 (ČSN 19552)			
C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]
0,33-0,41	0,80-1,20	0,25-0,50	4,80-5,50
Mo [%]	Ni [%]	V [%]	Cu [%]
1,10-1,50	-	0,30-0,50	-



Obrázek 4.7 Nástrojová ocel X37CrMoV5-1 (ČSN 19552) [20]

#### 4.2.3 Volba řezných podmínek pro funkční zkoušky

Volba řezných podmínek bude prováděna v testovací hale společnosti Dormer Pramet za přispění zkušených pracovníků obráběcího centra. Hodnoty budou zvoleny pro všechny tři geometrie břitových destiček XNGX 1308DNSN-P01, XNGX 1308DNSN-P02 a XNGX 1308DNSN-P03 totožné. Bude měněna řezná rychlost  $v_c$ , posuv na zub  $f_z$  a axiální hloubka řezu  $a_p$ , přičemž axiální hloubka řezu bude stanovena na minimální hodnotu 0,50 mm.

Minimální hloubka řezu bude stanovena na hodnotu 0,50 mm z důvodů předepsané minimální hloubky pro standardní hrubovací destičky PNMU 1308DNSR-M. Řezná rychlost  $v_c$  bude následně cíleně měněna pro všechny typy geometrií v požadovaném rozmezí  $180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  až  $220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Posledním faktorem, který specifikoval volbu řezných podmínek, pro konkrétní zkoušku, bude posuv na zub  $f_z$ . Posuv na zub  $f_z$  bude volen rovněž v souladu s předepsanými hodnotami pro standardní hrubovací destičky typu PNMU 1308DNSR-M a bude volen v rozmezí od 0,25 mm až do 0,70 mm. Zvolené řezné podmínky pro funkční zkoušky jsou pro lepší přehled znázorněny v následující tabulce 4.8.

Na základě těchto zvolených podmínek bude možné přistoupit k samotným funkčním zkouškám s ohledem na drsnost obrobeného povrchu. Zkoušky budou započaty na již zmíněném referenčním materiálu C45 (ČSN 12050.1).

Tabulka 4.8 Volba řezných podmínek, funkční zkoušky, ocel C45 (ČSN 12050.1)

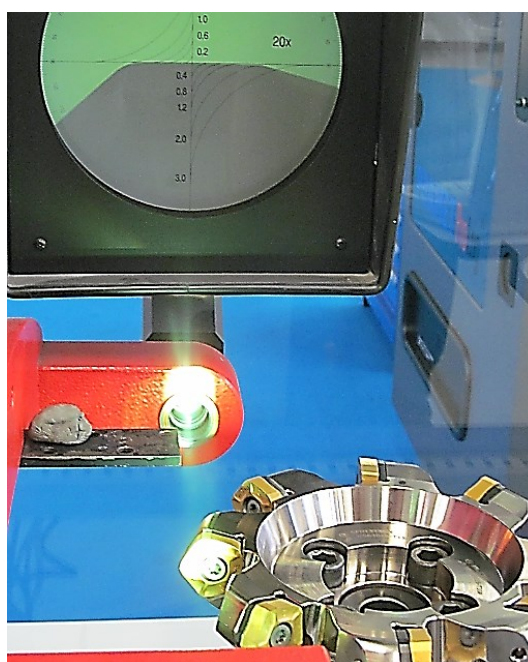
Hladící VBD XNGX 1308DNSN-P01, -P02, -P03		
Název parametru	Hodnota	Jednotka
Řezná rychlost $v_c$	180 ; 200 ; 220	$[m \cdot min^{-1}]$
Otáčky frézy $n$	358 ; 398 ; 438	$[1 \cdot min^{-1}]$
Posuv na zub $f_z$	0,25 ; 0,40 ; 0,55 ; 0,70	$[mm]$
Minutový posuv $f$	2451	$[mm \cdot min^{-1}]$
Počet zubů frézy $z$	8	$[-]$
Axiální hloubka řezu $a_p$	0,5 ; 1,0	$[mm]$
Radiální hloubka řezu $a_e$	100	$[mm]$
Průměr frézy $D$	160	$[mm]$
Zaoblení řezné hrany $R_\epsilon$	29, 49, 69	$[\mu m]$

#### 4.2.4 Kontrola ustavení hladící destičky XNGX 1308DNSN

Aby bylo měření objektivní a přesné, je nutné vyměnitelné břitové destičky správně ustavit v lůžku nástroje. Ve společnosti Dormer Pramet se tento úkon provádí na vertikálním seřizovacím přístroji BMD 465v, na kterém bude provedeno ustavení hrubovacích a hladících VDB. Přístroj se používá ke kontrole ustavení jednotlivých VBD a také k stanovení rozměrů nástroje včetně upínače. Bude zjištěna reálná výška nástroje společně s upínačem, kdy tato hodnota bude následně předána operátorovi frézovacího stroje.

Součástí přístroje jsou dva úchylkoměry, které slouží pro měření VBD a nástrojů. Přístroj je opatřen digitálním a páčkový úchylkoměrem. Dalšími prvky přístroje jsou magnetický stojánek, stupňovitý etalon a kontrolní trn SK50, s rozměry 50x50x300 mm.

Přístroj je schopen se pohybovat ve třech osách a pomocí optiky zajišťuje velmi přesné měření. Přístroj BMD 465v je možné připojit k osobnímu počítači, na kterém se vykreslují měřené hodnoty ve všech osách.



Obrázek 4.8 Kontrola ustavení hladící plochy VBD



#### 4.2.5 Zařízení pro měření drsnosti

Funkční zkoušky jsou zaměřeny na kvalitu obrobené plochy, tím pádem je nutné tuto plochu řádně a přesně měřit. K tomuto měření nám bude sloužit výkonný měřicí přístroj pro měření drsnosti obrobeného povrchu *Hommel - Etamic W5*. Tento drsnoměr splňuje stupeň přesnosti 1 dle normy DIN 4772. Přístroj je velmi jednoduchý, ale přesto výkonný, používá snímače pro měření T1E/T3E. [6]

Měřicí zařízení obsahuje Li-lon akumulátor, který zabezpečuje až 800 měření, dále má pět měřících programů pro měření, paměť až na 10 000 měření, výškově stavitelné nožičky a barevný grafický displej, který dokáže znázorňovat aktuálně změřenou drsnost povrchu. Měřidlo nabízí také připojení tiskárny P5, která efektivně dokáže vytisknout protokol po provedeném měření se zapsanými daty. [6]



Obrázek 4.9 Příprava zařízení Hommel - Etamic W5



Obrázek 4.10 Měření drsnosti pomocí Hommel - Etamic W5

### 4.3 Zkoušky trvanlivosti VBD na oceli C45 a X37CrMoV5-1

Společně s funkčními zkouškami budou prováděny i zkoušky hladicích destiček XNGX 1308DNSN na trvanlivost. Testování bude probíhat za obdobných podmínek jako u zkoušek funkčních. Do frézy 160C08R-S57PN13 bude upnuto sedm hrubovacích VBD PNMU 1308DNSR-M společně s jednou hladicí VBD XNGX 1308DNSN. Zkoušky zaměřené na trvanlivost nástroje budou prováděny na totožném frézovacím centru FCV 63 SCA. Testování bude zahájeno na již zmíněném referenčním materiálu C45 (ČSN 12050.9). Následující testování bude dále probíhat na nástrojové oceli X37CrMoV5-1 (ČSN 19552). Zkoušky se budou zaměřovat především na opotřebení hladicího břitu u všech vyrobených prototypových sad s typovým označením XNGX 1308DNSN-P01, XNGX 1308DNSN-P02 a XNGX 1308DNSN-P03.

Cílem zkoušek obrábění zaměřené na trvanlivost nástroje bude otestovat vyměnitelné břitové destičky až do viditelného poškození jejího vedlejšího v našem případě hladicího břitu. Změna geometrie hladicího břitu bude vést k předpokládanému ukončení těchto zkoušek a následnému vyhodnocení. Při zkouškách na trvanlivost bude postupováno obdobně jako u funkčních zkoušek obrábění.

V první fázi bude jednoznačně nutné stanovit řezné podmínky pro tuto zkoušku. V druhé fázi už bude možné přistoupit k samotným zkouškám obrábění. První zkouška bude prováděna na referenční oceli C45 (ČSN 12050.9) a následně bude možné přistoupit k testům na nástrojové oceli X37CrMoV5-1 (ČSN 19552).

V poslední fázi zkoušení bude provedeno vyhodnocení nejvhodnějších hladicích destiček, respektive nejvhodnější geometrie, na základě drsnosti obrobeného povrchu.

#### 4.3.1 Volba řezných podmínek pro zkoušku trvanlivosti

Volba řezných podmínek bude započata stanovením hloubky řezu  $a_p$ , kdy tato hodnota bude volena na základě minimální přípustné hloubky pro destičky XNGX 1308DNSN. Všechny hodnoty, které jsou uvedeny v následující *tabulce 4.9*, jsou pro všechny typy břitových hladicích destiček totožné. Dalšími důležitými hodnotami, které budou ovlivňovat zkoušky zaměřené na trvanlivost, bude volba řezné rychlosti  $v_c$ , kdy tato hodnota bude zvolena na předepsanou hodnotu až  $220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Poslední podmínkou pro zkoušku trvanlivosti bude stanovení hodnoty posuvu na zub  $f_z$ . Tento posuv bude zvolen obdobný jako u funkčních zkoušek obrábění. Hodnoty posuvu na zub  $f_z$  budou vycházet rovněž z předepsaných hodnot standardních VBD, hodnoty posuvu na zub  $f_z$  budou tedy zvoleny na hodnotu  $0,70 \text{ mm}$ . Cílem těchto zkoušek bude vyhodnocení nejvhodnější geometrie. Zkoušky budou zaměřeny na trvanlivost řezné geometrie.

Tabulka 4.9 Volba řezných podmínek, trvanlivost, ocel C45 a ocel X37CrMoV5-1

Hladící VBD XNGX 1308DNSN - P01, - P02, - P03		
Název parametru	Hodnota	Jednotka
Řezná rychlost $v_c$	220	$[m \cdot min^{-1}]$
Otáčky frézy $n$	438	$[1 \cdot min^{-1}]$
Posuv na zub $f_z$	0,70	$[mm]$
Minutový posuv $f$	2451	$[mm \cdot min^{-1}]$
Axiální hloubka řezu $a_p$	0,5	$[mm]$
Radiální hloubka řezu $a_e$	100	$[mm]$
Počet zubů frézy $z$	8	$[-]$
Počet hrubovací/hladící VBD	7+1	$[-]$
Průměr frézy $D$	160	$[mm]$
Zaoblení řezné hrany $R_\epsilon$	29, 49, 69	$[\mu m]$

## 4.4 Vyhodnocení funkčních zkoušek

Funkční zkoušky obrábění byly zaměřeny na sledování drsnosti povrchu obráběné vrstvy. Především byla vyhodnocována střední aritmetická úchylka profilu  $R_a$  a následně výška nerovnosti profilu  $R_z$ . Postupným měřením, zaznamenáváním hodnot a focením jednotlivých drsností povrchu při daných podmínkách bylo možné dojít k závěru, která z vyrobených geometrií hladících břitových destiček XNGX 1308DNSN bude nejvíce efektivní vzhledem ke kvalitě obrobené plochy.

Samotným principem zkoušky bylo dojít k nezávislému závěru, která z prototypových břitových destiček dosáhne nejlepší požadované drsnosti obrobeného povrchu, a tak zajistí potenciálnímu zákazníkovi efektivnost výroby.

### 4.4.1 Vyhodnocení funkčních zkoušek zaměřené na drsnost povrchu $R_a$ a $R_z$

Samotné zkoušky budou provedeny na již zmiňovaném horizontálním frézovacím centru FCV 63 SCA, který je uveden v kapitole 4.2.1. Funkční zkoušky zaměřené na drsnost obrobeného povrchu budou zahájeny pouze na referenčním materiálu společnosti s označením C45 (ČSN 12050.1), viz kapitola 4.2.2, za předem stanovených podmínek dle kapitoly 4.2.3. Po provedení těchto úkonů bude možné přistoupit k samotnému experimentu a měření jednotlivých drsností povrchu.

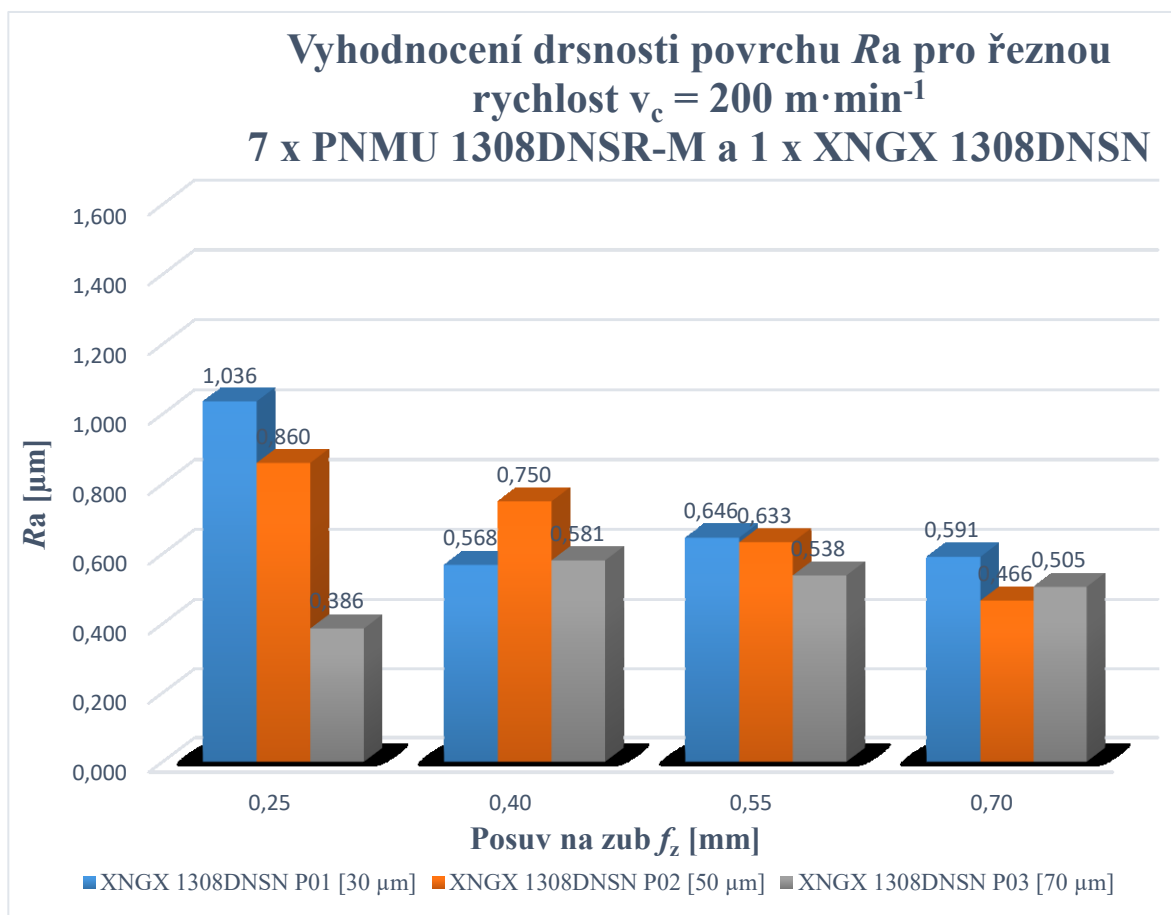
Funkčních zkoušky byly zaměřeny na drsnost obrobené plochy, přičemž obrábění bylo provedeno na referenční oceli C45 (ČSN 12050.1). Výsledek funkčních zkoušek zaměřené na drsnost obráběného povrchu můžeme shrnout do následujících bodů:

- funkční zkoušky byly rozděleny na tři samostatné fáze, v první fázi byl testován prototypový vzorek VBD XNGX 1308DNSN-P01, v druhé fázi byl testován

prototyp VBD XNGX 1308DNSN-P02 a v poslední fázi měření probíhalo testování prototypu VBD XNGX 1308DNSN-P03,

- b) měření bylo zahájeno při stanovené řezné rychlosti  $v_c$  axiální hloubce řezu  $a_p$  a posuvem na zub  $f_z$ , všechny tyto tři základní hodnoty byly cíleně měněny u každého příslušného vzorku v rozmezí řezné rychlosti  $v_c=180$  až  $220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , posuvu na zub  $f_z=0,25$  až  $0,70 \text{ mm}$  a axiální hloubce řezu  $a_p=0,5$  až  $1,0 \text{ mm}$ , přičemž minimální axiální hloubka řezu  $a_p$  byla stanovena na hodnotu  $0,5 \text{ mm}$ ,
- c) měněním jednotlivých parametrů řezných rychlostí bylo možné zaznamenat do příslušných tabulek, které zahrnovaly informace naměřených výsledků  $R_a$  a  $R_z$ . Ze získaných dat bylo následně možné vytvořit požadované grafy pro testované prototypové destičky VBD XNGX 1308DNSN-P01, VBD XNGX 1308DNSN-P02, a VBD XNGX 1308DNSN-P03 s měněním se posuvem na zub  $f_z$ ,
- d) z výsledných grafů je patrné, že největších drsností  $R_a$ , dosahovaly vzorky VBD XNGX 1308DNSN-P01, které při posuvu na zub  $f_z=0,25 \text{ mm}$  a řezné rychlosti  $v_c=180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  dosáhly hodnot  $R_a$  až  $1,408 \text{ } \mu\text{m}$ . Lepších výsledků bylo u těchto destiček zaznamenáno při změně řezné rychlosti  $v_c$ , kdy hodnota  $R_a$  byla v rozmezí  $0,706$  až  $0,993 \text{ } \mu\text{m}$ ,
- e) naopak, nejlepších výsledků drsnosti obrobené plochy vykazovaly v průměru prototypové vzorky VBD XNGX 1308DNSN-P02 a XNGX 1308DNSN-P03 se zaoblením řezné hrany  $50$  a  $70 \text{ } \mu\text{m}$ ,
- f) kdy při vyšší zvolené řezné rychlosti  $v_c=200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a axiální hloubce řezu  $a_p=0,5 \text{ mm}$  s posuvem na zub  $f_z=0,55 \text{ mm}$  vykazovaly prototypové vzorky XNGX 1308DNSN-P03 nejlepších výsledků, hodnota drsnosti povrchu  $R_a$  se ustálila na hodnotě  $0,538 \text{ } \mu\text{m}$ ,
- g) z hlediska dosažené drsnosti  $R_a$ , při stanovených řezných podmínkách vykazovaly nejlepších vlastností prototypové vzorky s označením XNGX 1308DNSN-P03 se zaoblením řezné hrany  $70 \text{ } \mu\text{m}$ .

Z následujícího grafu 4.1, který zaznamenává drsnost povrchu  $R_a$ , lze vyčíst, že vyměnitelné břitové destičky XNGX 1308DNSN-P03 se zaoblením řezné hrany  $70 \text{ } \mu\text{m}$  si vedly nejlepších výsledků. Vyměnitelné břitové destičky XNGX 1308DNSN-P03 dosahovaly obdivuhodných hodnot, při vyšším posuvu na zub  $f_z=0,7 \text{ mm}$  dosahovaly hodnot drsnosti  $R_a=0,505 \text{ } \mu\text{m}$ . V dalších přílohách této práce se nachází veškeré zaznamenané hodnoty střední aritmetické úchylky profilu  $R_a$  a  $R_z$ , pro všechny rychlosti.

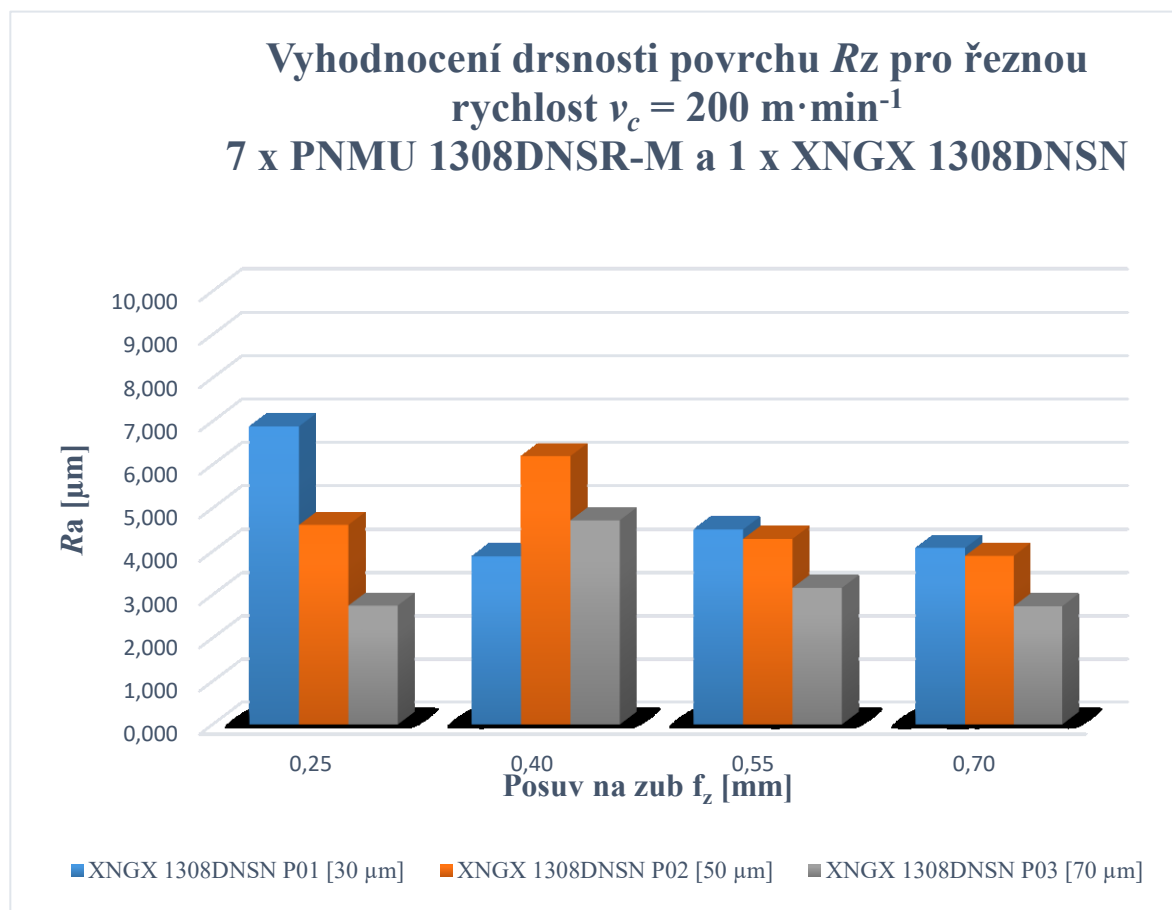


Graf 4.1 Vyhodnocení drsnosti povrchu  $R_a$  pro řeznou rychlost  $v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Dalším důležitým vyhodnocovacím parametrem pro hodnocení drsnosti obrobeného povrchu bylo vyhodnocení výšky nerovnosti profilu  $R_z$  díky obdobným praktikám jako u vyhodnocování střední aritmetické úchylky profilu povrchu  $R_a$ . Postupným měřením bylo možné dojít k závěru že:

- při stanovené řezné rychlosti  $v_c = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a hloubce řezu  $a_p = 0,5 \text{ mm}$  v posuvech na zub  $f_z$  v rozmezí 0,25 mm až 0,70 mm dosáhly nejlepších výsledků vyměnitelné břitové destičky XNGX 1308DNSN-P03 s ostrou geometrií a zaoblením řezné hrany 70  $\mu\text{m}$ , kdy při posuvu na zub  $f_z = 0,55 \text{ mm}$  bylo dosaženo drsnosti  $R_z = 2,960 \mu\text{m}$ ,
- v rámci změny řezné rychlosti  $v_c$  na vyšší hodnotu  $200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a totožného posuvu na zub  $f_z$  a axiální hloubce řezu  $a_p = 0,5 \text{ mm}$  vykazovaly rovněž vzorky XNGX 1308DNSN P03 nejlepších hodnot  $R_z$ , kdy tato hodnota byla 3,161  $\mu\text{m}$ ,
- posledním změnou řezné rychlosti  $v_c$  na hodnotu  $220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  bylo ověřeno, že ostřejší geometrie se zaoblením řezné hrany 70  $\mu\text{m}$  vykazuje nejlepších vlastností vzhledem k dosažení nejlepší kvality obrobené plochy.

Na následujícím grafu 4.2 lze vyčíst, že nejlepších výsledků vzhledem k dosažené nejlepší kvalitě obrobené plochy dosahovaly prokazatelně prototypové vzorky s označením XNGX 1308DNSN-P03 a se zaoblením řezné hrany 70  $\mu\text{m}$ . V těchto testech zaměřených na vyhodnocení výšky nerovnosti profilu  $R_z$ , byly nejhoršími VBD XNGX 1308DNSN-P01 se zaoblením řezné hrany 30  $\mu\text{m}$ , kdy tyto hladicí destičky vykazovaly velký nárůst drsnosti povrchu hlavně při nižší řezné rychlosti.



Graf 4.2 Vyhodnocené drsnosti povrchu  $R_z$  pro řeznou rychlost  $v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

V závěrečném shrnutí lze konstatovat, že nejlepších výsledků ve funkčních zkouškách nástroje dosáhly vzorky s prototypovým označením XNGX 1308DNSN-P03. Testy poukázaly na fakt, že ostřejší geometrie společně se zaoblením řezné hrany na 70  $\mu\text{m}$  dokáže zanechávat dostatečně hladký povrch polotovaru. Při zvýšení řezné rychlosti  $v_c$  a zvolení vyššího posuvu na zub  $f_z$ , bylo zjištěno, že měřená drsnost polotovaru výrazně klesá oproti nižším rychlostem popřípadě nižšímu posuvu na zub. Nejhorší výsledky naproti tomu vykazovaly vzorky XNGX 1308DNSN-P01, které si nejhůře vedly právě při menších řezných rychlostech. Při řezné rychlosti  $v_c = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a posuvu na zub  $f_z = 0,25 \text{ mm}$  dosáhly hladicí VBD XNGX 1308DNSN-P01 hodnot  $R_a = 1,408 \mu\text{m}$ , jednalo se o nejvíce naměřenou hodnotu v dosavadních testech. Všechny naměřené hodnoty zkoušek se nachází v přílohách diplomové práce.

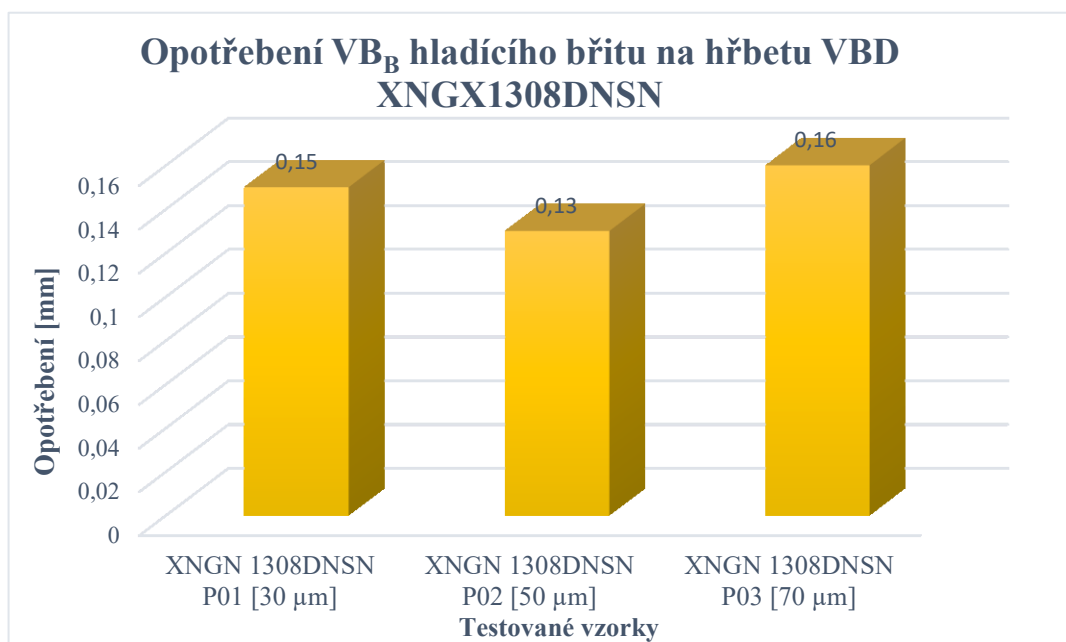
## 4.5 Vyhodnocení zkoušek trvanlivosti VBD

Po funkčních zkouškách bylo možné přistoupit ke zkouškám obrábění zaměřených na trvanlivost vedlejšího ostří, v našem případě hladícího břitů. Zkoušky na trvanlivost byly prováděny na referenčním materiálu C45 (ČSN 12050.9). Z důvodu ověření trvanlivosti nástroje a zajištění efektivnosti výroby nového prototypu nástroje byly testy provedeny také na již zmiňované nástrojové oceli X37CrMoV5-1 (ČSN 19552). Odlišnými mechanickými vlastnostmi těchto dvou materiálů bylo možné následné porovnání výsledků měření.

### 4.5.1 Vyhodnocení zkoušek trvanlivosti pro materiál C45 (ČSN 12050.9)

Experimentálním zkouškám byly podrobeny hladicí vyměnitelné břitové destičky XNGX 1308DNSN. Za předem stanovených podmínek dle *kapitoly 4.3.1*, bylo možné přistoupit k samotným experimentálním zkouškám a následnému vyhodnocení. Zkoušky byly provedeny pro VBD s označením XNGX 1308DNSN-P01, XNGX 1308DNSN-P02 a XNGX 1308DNSN-P03. Z postupného měření experimentu bylo možné dojít k následujícím výsledkům:

- a) měření bylo rozděleno do sedmi měřených úseků rozdělených po 5 minutách z důvodu rozměru polotovaru a zkušenosti pracovníků pro všechny tři prototypové sady jednotlivých břitových destiček,
- b) řezná zkouška byla ukončena po 35 minutách s vyhodnocením v závislosti na kritériu opotřebení hřbetu a vyměnitelných břitových destiček. Vyhodnocení zkoušek na trvanlivost hřbetu VBD bylo zaznamenáno a následně vyhodnoceno do grafu,
- c) grafické zhodnocení bylo zaznamenáno a promítnuto do *grafu 4.3*. Z tohoto grafu je zřejmé, že nejmenšího opotřebení dosáhly vzorky XNGX 1308DNSN-P02 se zaoblením řezné hrany 50  $\mu\text{m}$ . Tyto vzorky vykazovaly nejmenšího opotřebení s hodnotou 0,13 mm na hřbetě hladícího břitu,
- d) u všech testovaných vzorků se z hlediska průběhu zkoušky na trvanlivost vytvořily trhliny, především na čele vyměnitelné břitové destičky. Tyto trhliny se následně po svém vzniku začaly šířit a docházelo k postupnému prohlubování,
- e) ostatní hladicí břitové destičky měly téměř srovnatelné hodnoty opotřebení. Největšího opotřebení pak dosáhly vzorky XNGX 1308DNSN-P03 se zaoblením řezné hrany 70  $\mu\text{m}$ , kdy jejich opotřebení dosahovalo hodnot 0,16 mm,
- f) trhliny začaly narušovat řeznou hranu nástroje na vedlejším břitu, což vedlo k navýšení drsnosti obroběného povrchu a následnému ukončení zkoušek.



*Graf 4.3 Opotřebení VB<sub>B</sub> hladicího břítu na hřbetu VBD XNGX1308DNSN*

#### 4.5.1.1 Vyhodnocení trvanlivosti v závislosti na drsnosti povrchu, C45 (ČSN 12050.9)

V rámci testování nástrojů bylo důležité sledování drsnosti obrobeného povrchu v závislosti na trvanlivosti. Při každém záběru nástroje byla změřena a zaznamenána aritmetická hodnota drsnosti povrchu  $R_a$  a výška nerovnosti povrchu  $R_z$ . Z naměřených výsledků lze vyvodit závěr, že:

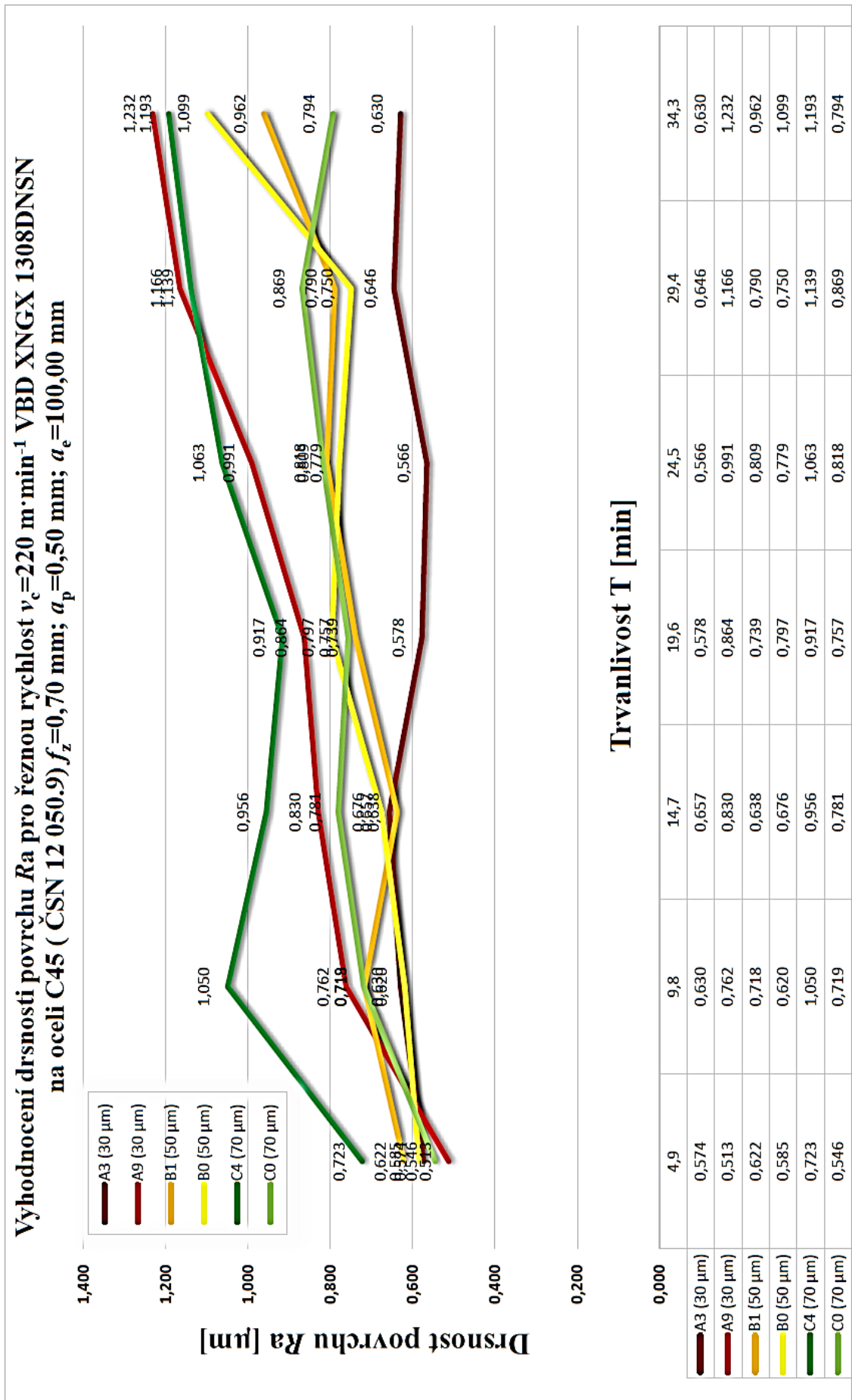
- z naměřených dat bylo možné sestavit grafické shrnutí v závislosti trvanlivosti na drsnost obrobeného povrchu,
- měření proběhlo za předem stanovených řezných podmínek, kdy řezná rychlost  $v_c$ , byla  $220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , posuv na zub  $f_z=0,70 \text{ mm}$  a axiální hloubka řezu  $a_p=0,50 \text{ mm}$ ,
- z následujícího *grafu 4.4* je zřejmé, že nejlepší aritmetické drsnosti povrchu  $R_a$  v závislosti na trvanlivosti nástroje si nejlépe vedly vzorky XNGX 1308DNSN-P01, se zaoblením řezné hrany  $30 \mu\text{m}$ ,
- naproti tomu nejhorších výsledků dosáhly vzorky XNGX 1308DNSN-P03, které vykazovaly zvýšené hodnoty aritmetické drsnosti povrchu  $R_a$ , kdy tato hodnota vzrostla v nejvyšším bodě na hodnotu  $1,193 \mu\text{m}$ ,
- ovšem kvůli velkému rozptylu měřených výsledků u hladicích vyměnitelných břitových destiček typu XNGX 1308DNSN-P01 a XNGX 1308DNSN-P03 bylo nutné dojít k závěru, že tyto destičky se považují za nevyzpytatelné a nespolehlivé.



- f) díky tomu lze konstatovat, že nejmenšího rozptylu naměřených výsledků drsnosti dosáhly vzorky XNGX 1308DNSN-P02 se zaoblením řezné hrany 50  $\mu\text{m}$ , kdy naměřený rozdíl dvou odlišných vzorků nepřesáhl 0,040  $\mu\text{m}$ ,
- e) v rámci měření, byla zaznamenávána výška nerovnosti  $R_z$ , která je znázorněna v *grafu 4.5*, z něhož je možno ověřit, že nejlepšího možného výsledku dosáhly vzorky XNGX 1308DNSN-P03 s nejmenší naměřenou hodnotou  $R_z=3,352 \mu\text{m}$ ,
- f) naproti tomu nejhoršího výsledku výšky nerovnosti profilu  $R_z$  dosáhly vzorky XNGX 1308DNSN-P01, dosáhly hodnoty naměřené drsnosti až 9,435  $\mu\text{m}$ ,
- g) vzhledem k rozptylu těchto dvou nejlepších vzorků bylo nutné vybrat jako nejlepší možnou variantu prototypovou sadu s označením XNGX 1308DNSN-P02 se zaoblením řezné hrany 50  $\mu\text{m}$ ,
- h) u hladicích vyměnitelných břitových destiček typu XNGX 1308DNSN-P02 došlo k nárůstu drsnosti obrobeného povrchu po překročení 29 minuty testování.

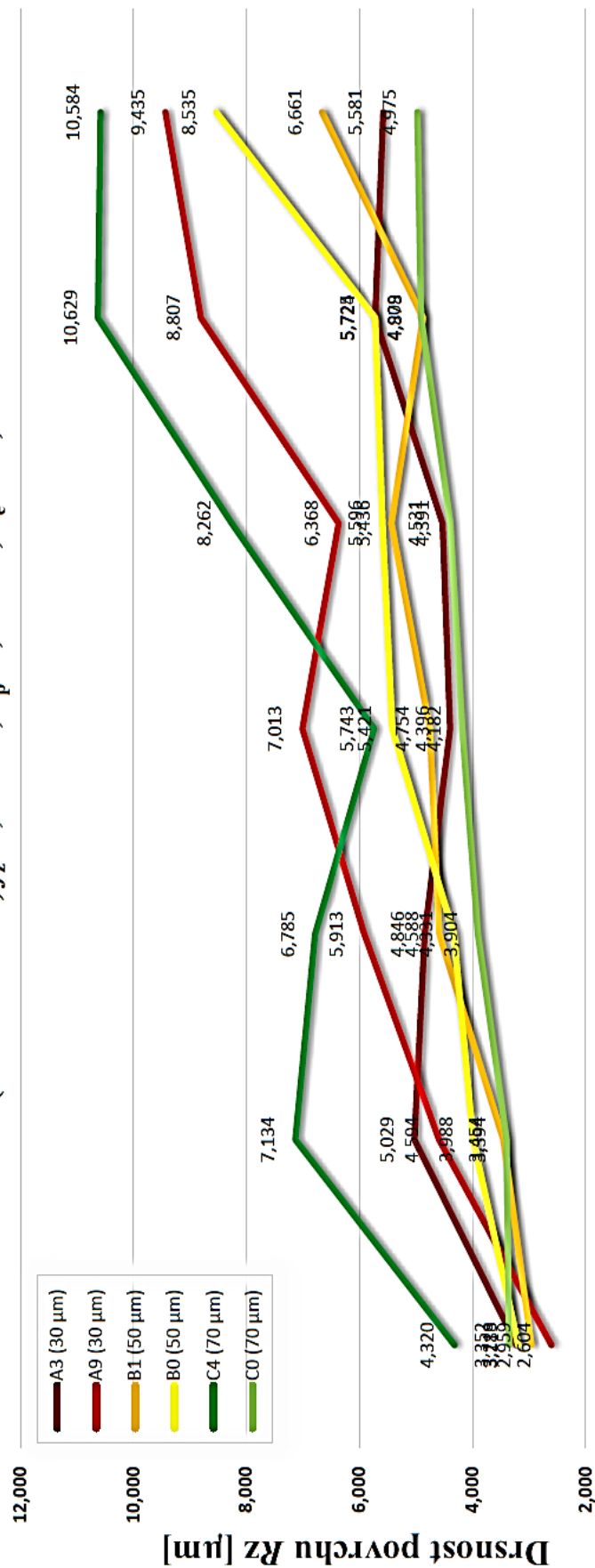
V konečném shrnutí lze konstatovat, že nejlepších výsledků v testech trvanlivosti zaměřených na drsnost povrchu dosáhly vzorky s prototypovým označením XNGX 1308DNSN-P02, které vykazovaly nejnižší rozptyl naměřených hodnot. Z *grafu 4.4* a z *grafu 4.5* je možné tento rozptyl zaznamenat. Z tohoto důvodu byla vyhodnocena hladicí vyměnitelná břitová destička XNGX 1308DNSN-P02 jako nejlepší.

Oproti tomu nejhorší výsledky byly zaznamenány u vzorků XNGX 1308DNSN-P01 a XNGX 1308DNSN-P03, dosahovaly mnohdy i lepších hodnot, ale z důvodu rozptylu jednotlivých geometrií bylo nutné tyto hodnoty považovat za méně objektivní.



Graf 4.4 Hodnoty drsnosti povrchu Ra v závislosti na trvanlivosti nástroje

Výhodnocení drsnosti povrchu Rz pro řeznou rychlost  $v_c=220\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  VBD XNGX 1308DNSN na oceli C45 ( ČSN 12 050.9)  $f_z=0,70\text{ mm}$ ;  $a_p=0,50\text{ mm}$ ;  $a_e=100,00\text{ mm}$



Trvanlivost T [min]

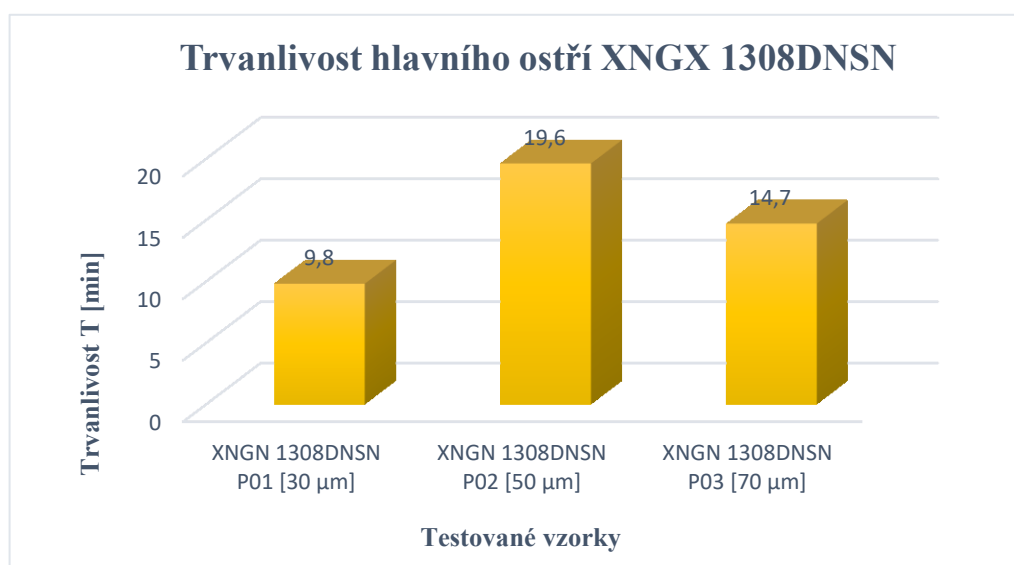
0,000	4,9	9,8	14,7	19,6	24,5	29,4	34,3
A3 (30 µm)	3,218	5,029	4,846	4,396	4,531	5,724	5,581
A9 (30 µm)	2,604	4,594	5,913	7,013	6,368	8,807	9,435
B1 (50 µm)	2,959	3,454	4,588	4,754	5,436	4,878	6,661
B0 (50 µm)	3,189	3,988	4,331	5,421	5,596	5,725	8,535
C4 (70 µm)	4,320	7,134	6,785	5,743	8,262	10,629	10,584
C0 (70 µm)	3,352	3,394	3,904	4,182	4,391	4,909	4,975

Graf 4.5 Hodnoty drsnosti povrchu Rz v závislosti na trvanlivosti nástroje

#### 4.5.2 Vyhodnocení zkoušek trvanlivosti pro materiál X37CrMoV5-1 (ČSN 19552)

Vzhledem k tomu, že všechny prototypové vyměnitelné břitové destičky vykazovaly obdobné opotřebení, bylo nutné přistoupit ke změně materiálu a dojít k ověření zkoušek. Následné zkoušky zaměřené na trvanlivost vedlejšího ostří byly prováděny za obdobných řezných podmínek ovšem na jiném materiálu X37CrMoV5-1 (ČSN 19552). Tato ocel se vyznačuje tvrdostí až 300 HB. Zkouškami obrábění, které jsou zaměřeny na trvanlivost nástroje na nástrojové oceli, můžeme dojít k závěru že:

- a) samotné měření bylo rozděleno do čtyř základních částí, kdy každý úsek proběhl v trvání 5 minut, při kterém bylo zaznamenáváno opotřebení hlavního břitu,
- b) fréza byla standardně osazena sedmi hrubovacími destičkami PNMU 1308DNSR-M a jednou hladicí destičkou XNGX 1308DNSN-P01, XNGX 1308DNSN-P02 nebo XNGX 1308DNSN-P03,
- c) nejvyšší trvanlivosti dosáhly vzorky XNGX 1308DNSN-P02 se zaoblením řezné hrany 50  $\mu\text{m}$ , kdy tato destička dosáhla trvanlivosti 19,6 minut,
- d) u všech testovaných prototypových vzorků se v průběhu řezné zkoušky vytvořily hřebenové trhliny na čele vyměnitelných břitových destiček, které se v dalším průběhu zkoušky začaly prohlubovat až do okamžiku, kdy narušily hřbet VBD,
- e) vlivem těchto trhlin docházelo k vyštípnutí nebo vylomení větší části hlavního břitu, což vedlo k ukončení testů po 19 minutách.
- f) ze získaných hodnot bylo možné dojít ke grafickému znázornění nejvíce dosažené trvanlivosti hladicí vyměnitelné břitové destičky.



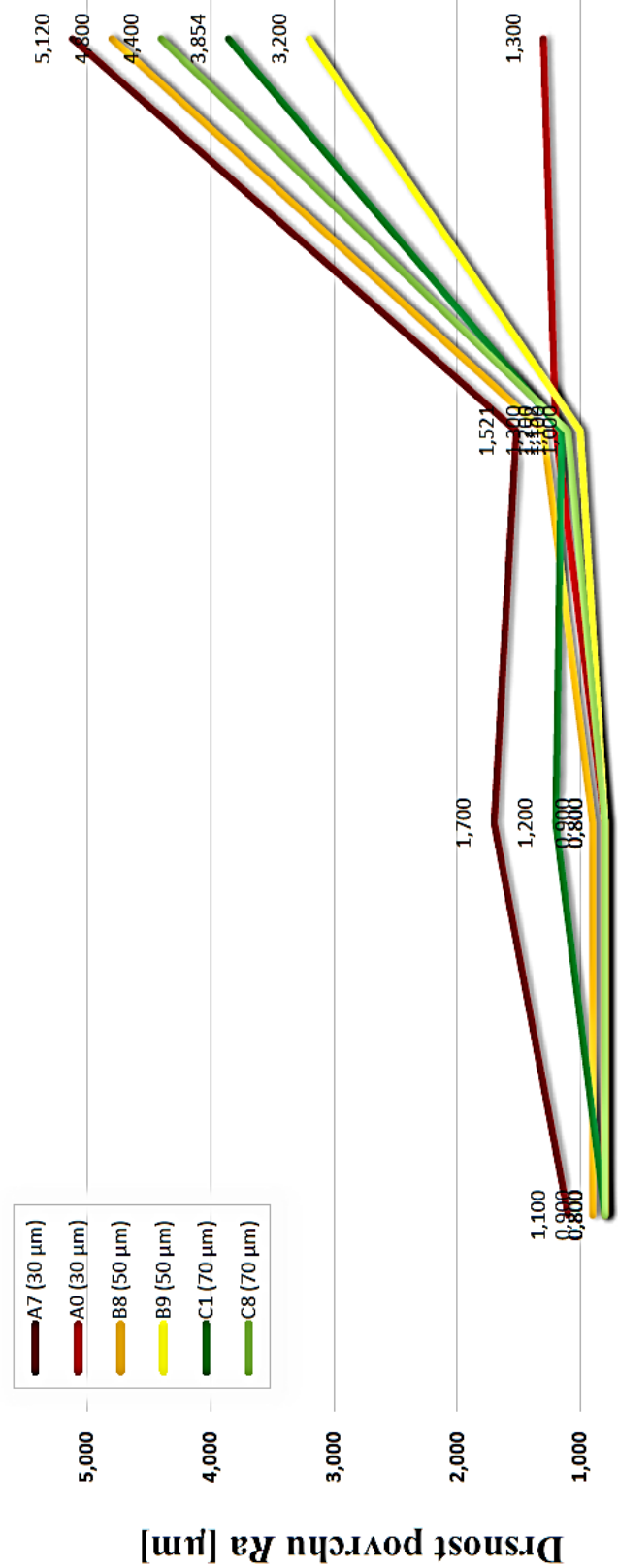
Graf 4.6 Míra trvanlivosti hlavního ostří

#### 4.5.2.1 Vyhodnocení trvanlivosti v závislosti na drsnosti povrchu, X37CrMoV5-1

Z důvodu ověření trvanlivosti nástroje v řezu bylo nutné testování nástroje na materiálu X37CrMoV5-1 (ČSN 19552). Měření probíhalo obdobným způsobem jako u testování na referenčním materiálu C45 (ČSN 12050.9). Díky postupnému měření a zaznamenávání hodnot bylo možné dojít k následujícím závěrům:

- a) měření bylo rozděleno do čtyř základních úseků po pěti minutách, ve kterých byla sledována aritmetická hodnota profilu  $R_a$  a výšková nerovnost profilu  $R_z$ ,
- b) testování trvanlivosti v závislosti na drsnosti povrchu bylo provedeno za předem stanovených řezných podmínek, kdy řezná rychlost  $v_c$  byla  $220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , posuv na zub  $f_z=0,70 \text{ mm}$  a axiální hloubka řezu  $a_p=0,50 \text{ mm}$ ,
- c) z naměřených hodnot bylo možné sestavit grafické zhodnocení, které je uvedeno v *grafu 4.7*, z tohoto grafu je zřejmé, že aritmetická hodnota profilu  $R_a$ , byla u všech prototypových destiček totožná až do třetího úseku,
- d) v poslední fázi došlo k většímu nárůstu aritmetické hodnoty  $R_a$  u vyměnitelných břitových destiček XNGX 1308DNSN-P02 a XNGX 1308DNSN-P03, kdy u XNGX 1308DNSN-P02 došlo k nárůstu z hodnoty  $R_a=1,300 \text{ } \mu\text{m}$  až na hodnotu  $R_a=4,800 \text{ } \mu\text{m}$ ,
- e) nejlepšího výsledku měření drsnosti povrchu dosáhly vyměnitelné břitové destičky XNGX 1308DNSN-P01 se zaoblením řezné hrany  $30 \text{ } \mu\text{m}$ , kdy tyto vzorky dosahovaly nejmenších drsností povrchu ve všech měřených úsecích,
- f) avšak u testovaných vzorku XNGX 1308DNSN-P01 došlo k většímu rozdílu měřených hodnot, z *grafu 4.7* je patrné, že všechny vzorky vykazovaly přijatelnou drsnost do 15 minuty testování, v tomto okamžiku nejlepší výsledek byl zaznamenán u testovaných vzorků XNGX 1308DNSN-P02,
- g) oproti tomu nejhorších výsledků při měření drsnosti  $R_a$ , bylo dosaženo u vzorků XNGX 1308DNSN-P01 a XNGX 1308DNSN-P03,
- h) při měření těchto hodnot byla zaznamenávána i výšková nerovnost  $R_z$ , kdy nejlepšího výsledku dosahovaly rovněž vzorky XNGX 1308DNSN-P01 a P02, u kterých se hodnota v poslední části měření ustálila na hodnotě  $10,900$  a  $18,300 \text{ } \mu\text{m}$ ,
- ch) oproti tomu, nejhoršího výsledku dosahovaly vyměnitelné břitové destičky typu XNGX 1308DNSN-P03, kdy v poslední fázi měření docílily hodnoty  $28,100 \text{ } \mu\text{m}$ , což bylo nejhorší naměřenou hodnotou ze všech předchozích měření.

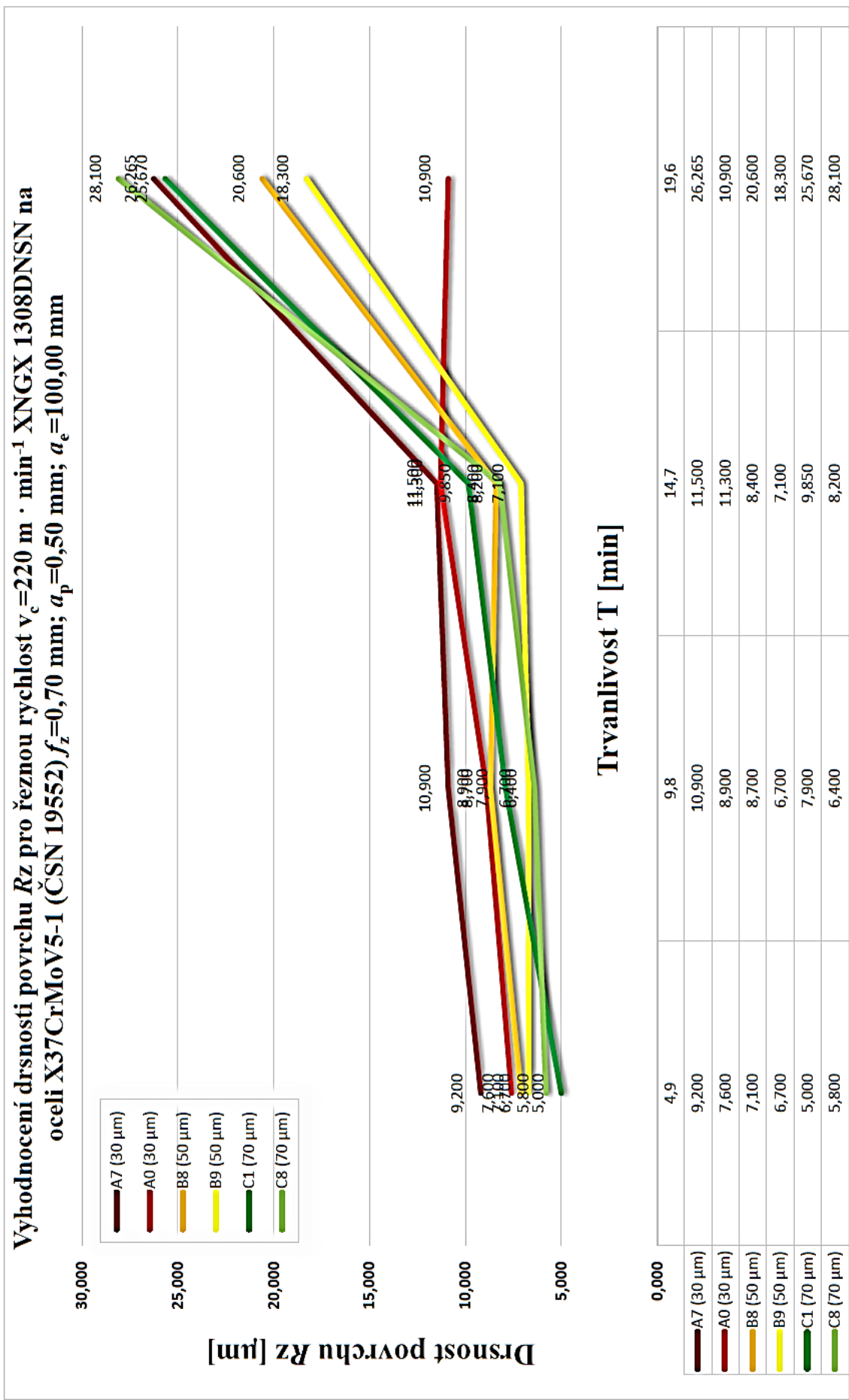
Výhodnocení drsnosti povrchu Ra pro řeznou rychlost  $v_c=220\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  XNGX 1308DNSN na oceli X37CrMoV5-1 (ČSN 19552)  $f_z=0,70\text{ mm}$ ;  $a_p=0,50\text{ mm}$ ;  $a_e=100,00\text{ mm}$



Trvanlivost T [min]

	4,9	9,8	14,7	19,6
A7 (30 µm)	1,100	1,700	1,521	5,120
A0 (30 µm)	0,800	0,800	1,200	1,300
B8 (50 µm)	0,900	0,900	1,300	4,800
B9 (50 µm)	0,800	0,800	1,000	3,200
C1 (70 µm)	0,800	1,200	1,152	3,854
C8 (70 µm)	0,800	0,800	1,100	4,400

Graf 4.7 Hodnoty drsnosti povrchu Ra v závislosti na trvanlivosti nástroje



Graf 4.8 Hodnoty drsnosti povrchu Rz v závislosti na trvanlivosti nástroje

#### 4.5.3 Shrnutí zkoušek trvanlivosti pro materiály C45 a X37CrMoV5-1

Z předchozích kapitol je zřejmé, že měření trvanlivosti nástroje v řezu bylo velmi náročné a důležité. Prioritními hodnotami pro vyhodnocení nejlepší a neoptimálnější geometrie hladicí VBD byly hodnoty získané ze zkoušek trvanlivosti v závislosti na drsnosti povrchu. Tyto testy byly prováděny na referenční oceli společnosti s označením C45 (ČSN 12050.9). Z důvodu ověření a objektivnosti měření bylo rozhodnuto, aby testy proběhly i na nástrojové oceli X37CrMoV5-1 (ČSN 19552), která disponuje téměř dvojnásobnou tvrdostí.

Předcházející testy, které byly prováděny na referenční oceli C45 (ČSN 12050.9), lze shrnout do následujících bodů:

- a) z kapitoly 4.5.1 je patrné, že v testech, kde bylo sledováno nejmenšího opotřebení, dosáhly hladicí VBD prototypové sady XNGX 1308DNSN-P02 opotřebení  $VB_B=0,13$  mm,
- b) ve zkouškách zaměřených na trvanlivost nástroje s ohledem na drsnost obrobeného povrchu viz kapitola 4.5.1.1 byly nejlepší prototypové sady XNGX 1308DNSN-P01 a XNGX 1308DNSN-P03. Z důvodu velkého rozptylu výsledných informací u vzorků A3, A9 ze sady XNGX 1308DNSN-P01 a C4,C0 ze sady XNGX 1308DNSN-P03 vyplynul závěr, že vhodnější geometrii obsahuje sada XNGX 1308DNSN-P02, jejíž vzorky vykazovaly daleko menší rozptyl výsledných drsností  $R_a$  i  $R_z$ .

Dalším testování prototypových vzorků na nástrojové oceli s označením X37CrMoV5-1 (ČSN 19552) bylo možné dojít k závěru, který lze shrnout do následujících bodů:

- a) z kapitoly 4.5.2 je zřejmé, že v testech, které byly zaměřeny na trvanlivost nástroje v řezu, dosahovaly nejlepších hodnot vzorky z prototypové sady nesoucí označení XNGX 1308DNSN-P02, jejich hodnoty dosáhly trvanlivosti  $T=19,6$  minut,
- b) zkouškami zaměřenými na trvanlivost v závislosti na drsnosti povrchu viz kapitola 4.5.2.1 bylo zjištěno, že všechny prototypové hladicí destičky XNGX 1308DNSN vykazují obdobné hodnoty drsnosti  $R_a$ , až do poslední fáze měření, kdy došlo k nárůstu drsnosti  $R_a$  u prototypových vzorků XNGX 1308DNSN-P02 a XNGX 1308DNSN-P03,
- c) u zkoušek dle kapitoly 4.5.2.1 byla měřena i výšková nerovnost  $R_z$ , všechny hladicí VBD vykazovaly obdobné hodnoty až do 15 minut testování.



## 5 Technicko-ekonomické zhodnocení

Technicko-ekonomické zhodnocení lze rozdělit na dvě základní části technickou část a ekonomickou část. V první podkapitole se nabízí srovnání technických parametrů naměřených drsností. Srovnávat budeme nově nabízený sortiment osazený prototypovými hladíci destičkami XNGX 1308DNSN-P02. Pro porovnání použijeme stejného nástroje osazeného hrubovacími destičkami PNMU 1308SNSR-M bez použití hladíci VBD.

Z naměřených dat bude možné sestavit grafické zobrazení vypovídající o naměřené drsnosti povrchu v různých řezných podmínkách.

V druhé podkapitole je možné dojít k závěrům z oblasti ekonomické výhodnosti tohoto řešení. Předpokladem je, že zákazník bude upřednostňovat nákup hladíci břitových destiček společně s nástrojem. Díky tomu dosáhne výrazného snížení strojního času z důvodu absence upínání jiného konvenčního dokončovacího nástroje.

### 5.1 Technické zhodnocení

Cílem výše uvedených experimentů bylo vyhodnotit nejvhodnější geometrii hladíci vyměnitelných břitových destiček s ohledem na trvanlivost a kvalitu obrobenej plochy. Ve společnosti Dormer Pramet byl tento experiment zrealizován a z výsledných dat bylo možné přistoupit k vyhodnocení.

V rámci technického zhodnocení se nabízí porovnání naměřených drsností povrchu realizované pomocí nových hladíci destiček s naměřenými drsnostmi povrchu, bez hladíci destiček pouze s hrubovacími.

Experimentálním zkouškám byly podrobeny hladíci prototypové sady s označením XNGX 1308DNSN-P01 , XNGX 1308DNSN-P02 a XNGX 1308DNSN-P03 s rozdílným zaoblením řezných hran. Díky těmto testům jsme došli k závěru, že nejvhodnější geometrii hladíci vyměnitelné břitové destičky vzhledem k výsledkům drsnosti obrobenej povrchu jsou vzorky z prototypové sady XNGX 1308DNSN-P02 se zaoblením řezné hrany 50  $\mu\text{m}$ , ty vykazovaly při různých parametrech obrábění přijatelné hodnoty střední aritmetické úchylnky profilu  $R_a$  i výškové nerovnosti profilu  $R_z$ .

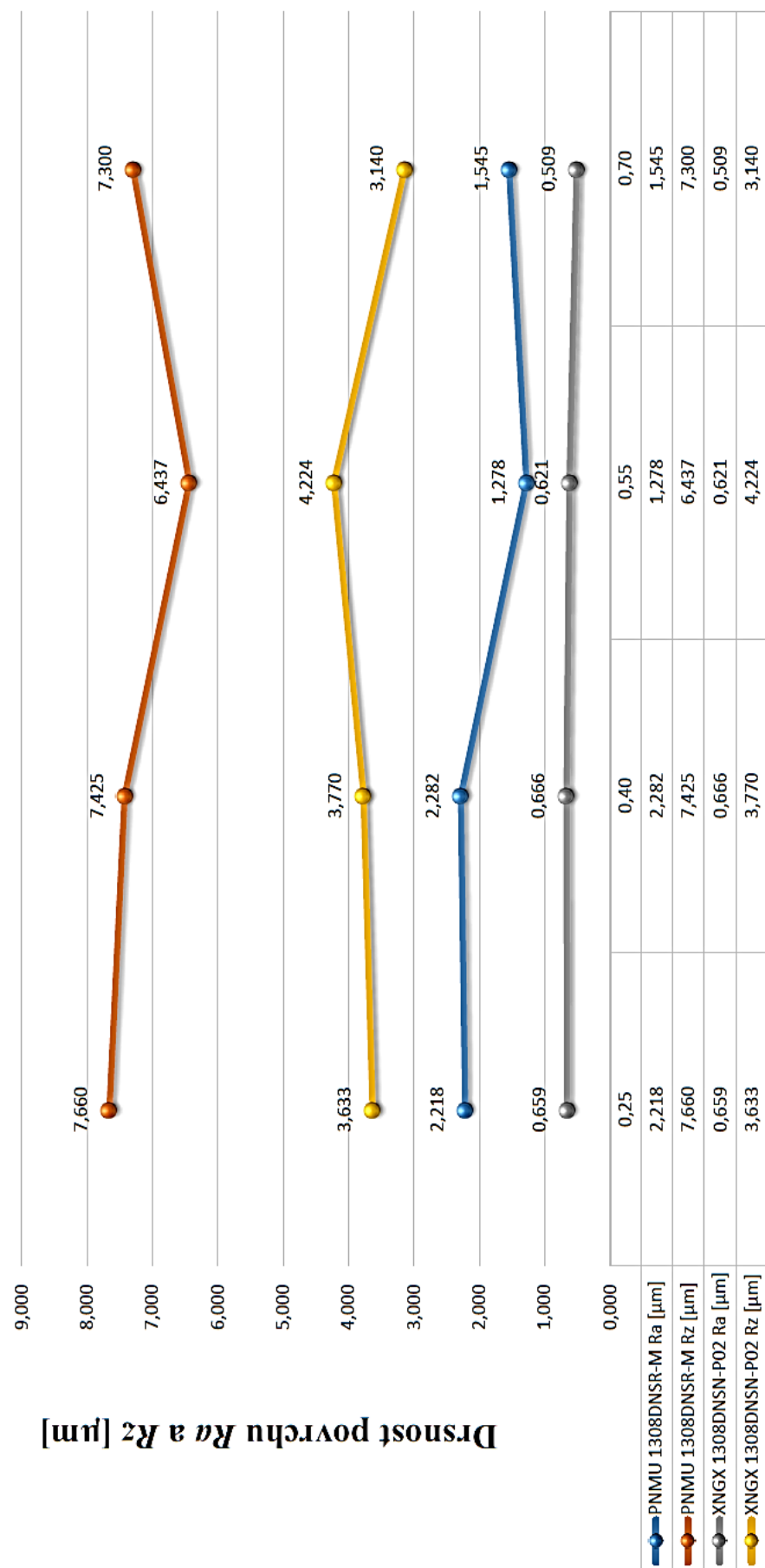
Pro možné srovnání drsností povrchu byly použity standardní hrubovací vyměnitelné břitové destičky PNMU 1308SNSR-M, které byly osazený na frézu 160C08R-S57PN13 viz kapitola 4.1.2. Platily stejné řezné podmínky - řezná rychlost  $v_c$ , o hodnotě 220  $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ,

posuv na zub  $f_z$  v rozmezí 0,25 mm až 0,70 mm a axiální hloubka řezu  $a_p=0,50$  mm. Srovnání proběhlo na referenčním materiálu C45 (ČSN 12050.9) viz kapitola 4.2.2 a totožném frézovacím stroji CNC-FCV 63 SCA viz kapitola 4.2.1. Z následujícího grafu 5.1 je možné dojít k následujícím závěrům, že:

- a) porovnání bylo provedeno za stejných řezných podmínek, při nichž byly použity vyměnitelné břitové destičky PNMU 1308SNSR-M bez hladicího segmentu a prototypové hladicí destičky XNGX 1308DNSN-P02 s hladicím břitem,
- b) z následujících získaných dat bylo možné sestavení grafického zhodnocení těchto dvou odlišných destiček, z kterého plyne, že se zavedením hladicí vyměnitelné břitové destičky výrazně klesá střední aritmetická úchylka profilu  $R_a$  i výšková nerovnost  $R_z$ ,
- c) tento rozdíl je nejvíce viditelný při posuvu na zub  $f_z=0,40$  mm, kdy hladicí destička XNGX 1308DNSN-P02 dosáhla velmi přijatelných hodnot  $R_a=0,666$   $\mu\text{m}$ , oproti tomu u standardních hrubovacích vyměnitelných břitových destiček PNMU 1308SNSR-M byla naměřena drsnost povrchu  $R_a=2,282$   $\mu\text{m}$ ,
- d) díky tomuto porovnání je možné konstatovat, že hladicí břitová destička má svůj význam za předpokladu, že zákazníkovi záleží na kvalitě obráběné plochy, potom hladicí destička dokáže při stejných podmínkách frézování snížit drsnost povrchu více jak o trojnásobek původní hodnoty,
- e) snížení drsnosti povrchu obrobené plochy vede k tomu, že zákazník není nucen nakupovat speciální nástroje pro dokončovací operace, ale může použít hrubovací frézu 160C08R-S57PN13 viz kapitola 4.1.2 osazenou jednou hladicí vyměnitelnou destičkou XNGX 1308DNSN-P02 se zaoblením řezné hrany 50  $\mu\text{m}$ ,
- f) tento fakt svědčí o tom, že hladicí destičky typu XNGX 1308DNSN-P02 zajistí zákazníkovi snížení strojního času i snížení drsnosti obrobeného povrchu a tím podpoří efektivnost v dané výrobě.

V následujícím grafu 5.1 se nachází srovnání naměřených hodnot drsnosti povrchu, střední aritmetická úchylka  $R_a$  a výškový rozdíl profilu  $R_z$  pro vyměnitelné břitové destičky PNMU 1308SNSR-M a hladicí vyměnitelné břitové destičky XNGX 1308DNSN-P02.

**Porovnání drsností povrchu Ra a Rz pro řeznou rychlost  $v_c=220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  VBD  
PNMU 1308DNSR-M a hladicí VBD XNGX 1308DNSN-P02 na oceli C45 ( ČSN 12050.9)  
 $f_z=0,25 - 0,70 \text{ mm}$ ;  $a_p=0,50 \text{ mm}$ ;  $a_e=100,00 \text{ mm}$**



**Posuv na zub fz [mm]**

*Graf 5.1 Hodnoty drsnosti povrchu Ra a Rz pro PNMU 1308DNSR-M a hladicí VBD XNGX 1308DNSN-P02*

## 5.2 Ekonomické zhodnocení

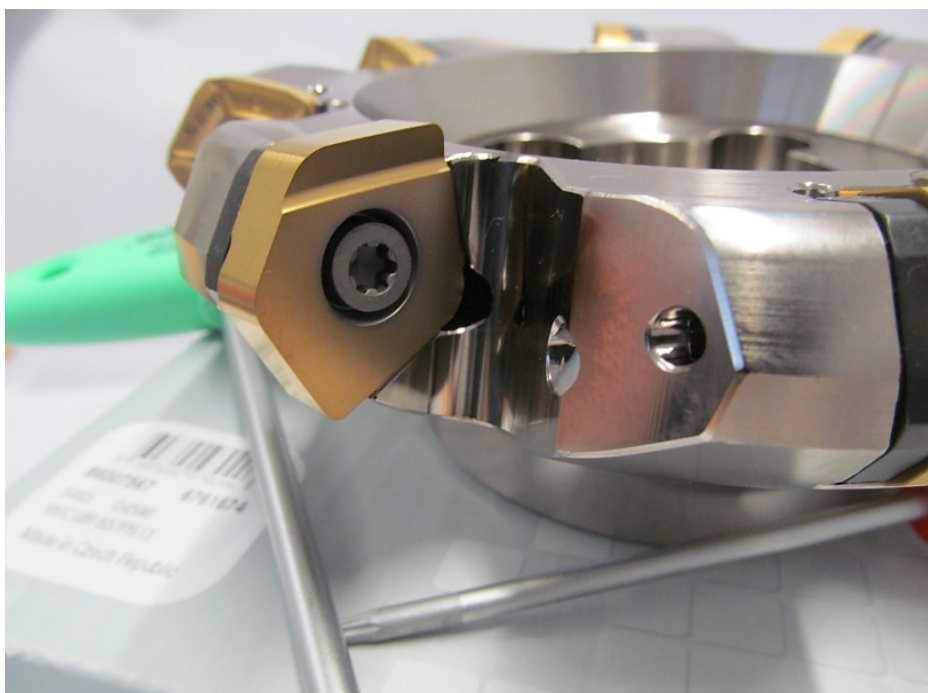
V rámci ekonomického zhodnocení se nabízí provedení jednoduchého srovnání dvou řešení. Za předpokladu, že zákazníkovi záleží na kvalitě obrobené plochy, je možné uvažovat o inovativním řešení, které bylo předmětem této diplomové práce.

### 5.2.1 Navrhované řešení s hladicí VBD XNGX 1308DNSN

Principem námi navrhovaného řešení bude použití standardní hrubovací frézy 160C08R-S57PN13. Fréza bude osazena hrubovacími destičkami PNMU 1308DNSR-M a jednou hladicí destičkou XNGX 1308DNSN-P02. Z *tabulky 5.1* lze vyčíst, že pořizovací cena hladicí destičky bude 458 Kč. Pořizovací cena hrubovací vyměnitelné břitové destičky je řádově vyšší, ale je nutné si uvědomit, že tato destička nabízí až deset řezných hran, tím pádem po přepočtu ceny na jednu řeznou hranu dostáváme částku 67 Kč. Jedná se tedy o velmi ekonomické řešení. V samotném závěru *tabulky 5.1* se nachází přepočet celkové pořizovací ceny včetně nástroje.

*Tabulka 5.1 Ceny navrhovaného řešení s hladicí VBD XNGX 1308DNSN*

Navrhované řešení s hladicí VBD XNGX 1308DNSN			
	Hrubovací VBD	Hladicí VBD	Fréza
Označení	<i>PNMU 1308DNSR-M</i>	<i>XNGX 1308DNSN</i>	<i>160C08R-S57PN13</i>
Pořizovací cena [Kč]	670	458	22 590
Počet řezných hran [-]	10	2	8
Cena řez. hrany [Kč]	67	229	-
Celková cena [Kč]	4690	458	22 590
Celková cena navrhovaného řešení s VBD XNGX 1308DNSN			27 738 Kč



*Obrázek 5.1 Nový navrhovaný sortiment Dormer Pramet s hladicí VBD*


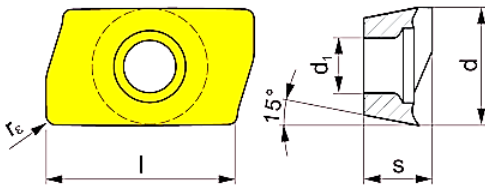
### 5.2.2 Standardní řešení bez hladicí VBD XNGX 1308DNSN

Alternativním řešením, které bude sloužit v rámci porovnání, bude již nabízený frézovací nástroj společnosti Dormer Pramet s označením 100A06R-S90AD16E-C, který osadíme nejprodávanějšími vyměnitelnými břitovými destičkami z nabízeného sortimentu. Tyto hrubovací destičky mají označení ADMX 160608SR-M. V *tabulce 5.2* je možné vyčíst ekonomické parametry daných destiček společně s nástrojem. Z tohoto shrnutí plyne, že pořizovací cena standardního nabízeného sortimentu společnosti Dormer Pramet je výrazně nižší oproti navrhovanému řešení, je však důležité do této ceny přičíst nákup nástroje, který bude sloužit pro dokončovací operace. Standardní hrubovací vyměnitelné břitové destičky patří do skupiny nejprodávanějšího sortimentu společnosti Dormer Pramet. Tyto destičky však disponují velmi malým posuvem na zub  $f_z$ , kdy oproti hladicím destičkám, které mají maximální posuv na zub  $f_z=0,70$  mm, mají tyto destičky pouze  $f_z=0,25$  mm. Tento fakt výrazně ovlivňuje efektivnost při frézování.

Tabulka 5.2 Ceny standardního řešení bez hladicí VBD s ADMX 160608SR-M

Standardní řešení bez hladicí VBD s hrubovací ADMX 160608SR-M		
	Hrubovací VBD	Fréza
Označení	ADMX 160608SR-M	100A06R-S90AD16E-C
Pořizovací cena [Kč]	340	10 330
Počet rezných hran [-]	2	6
Cena řez. hrany [Kč]	170	-
Celková cena [Kč]	2040	10 330
Celková cena standardního řešení s ADMX 160608SR-M		12 370 Kč

Tabulka 5.3 Parametry frézy 100A06R-S90AD16E-C a VBD ADMX 160608SR-M

100A06R-S90AD16E-C					ADMX 160608SR-M				
									
D[mm]	Z[-]	$a_p$ [mm]	$\gamma_p$ [°]	$\gamma_f$ [°]	d[mm]	$f_{max}$ [mm]	$d_1$ [mm]	l[mm]	s[mm]
100	6	13,00	12,00	-8,20	9,950	0,25	4,50	16,00	6,25

### 5.2.3 Porovnání navrhovaného a stávajícího řešení

Z výše uvedených technických a ekonomických informací je možné vydedukovat, že námi navrhované řešení bude ekonomičtější a efektivnější ve srovnání se standardními hrubovacími nástroji. Z předchozích kapitol je možné dojít k závěru, že:

- a) Pořizovací cena nového nabízeného sortimentu s frézou 160C08R-S57PN13, která bude osazena jednou hladicí VBD XNGX 1308DNSN-P02 a sedmi hrubovacími vyměnitelnými břitovými destičkami PNMU 1308DNSR-M, bude v konečném součtu značně vyšší než pořizovací cena standardního hrubovacího nástroje; je ale nutné do ceny standardního řešení započítat nákup nástroje pro dokončovací operace,
- b) při použití nového řešení a za předem stanovených řezných podmínek, kdy posuv na zub  $f_z=0,70$  mm, hloubka řezu  $a_p=0,50$  mm a šířka záběru  $a_e=100$  mm, dokáže nástroj s těmito destičkami obrobit plochu jeden  $m^2$  za 4 minuty s průměrnou aritmetickou úchylkou profilu  $Ra=0,600$   $\mu m$ ,
- c) zkouškami na trvanlivost bylo prokázáno, že hladicí VBD XNGX 1308DNSN-P02 byly schopné zajistit požadovanou drsnost plochy přes 35 min; z toho plyne, že nástroj opatřený hladicí destičkou dokáže obrobit za 30 minut  $7,5$   $m^2$  plochy při ceně 250 Kč za jeden hladicí břit,
- d) z výše uvedených parametrů pro standardní frézu 100A06R-S90AD16E-C, která bude osazena šesti hrubovacími vyměnitelnými břitovými destičkami s označením ADMX 160608SR-M, je možné vypočítat, že při obdobných podmínkách, kdy posuv na zub  $f_z=0,25$  mm, hloubka řezu  $a_p=0,50$  mm a šířka záběru  $a_e=50$  mm, bude tomuto nástroji trvat obrobit jeden  $m^2$  plochy za 12 minut,
- e) z tohoto důvodu je zřejmé, že za 30 minut je nástroj schopen obrobit pouze  $2,5$   $m^2$  plochy, což je téměř třikrát méně než u nově nabízeného sortimentu.

Závěrem lze říci, že námi navrhované řešení má smysl za předpokladu, že zákazníkovi v první řadě záleží na kvalitě obrobené plochy. Pořizovací cena této frézy, která se nachází v nabízeném sortimentu, je značně větší oproti standardním hrubovacím frézám, ale dokáže snížit strojní čas, zlepšit drsnost kvality obrobené plochy a nabídnout zákazníkovi kvalitnější vyměnitelné břitové destičky s mnohonásobným počtem řezných hran.

## 6 Závěr

Diplomová práce se zabývá vyhodnocením nejvhodnější geometrie hladicí vyměnitelné břitové destičky při rovinném frézování. Samotný princip této práce byl ve srovnání, testování a vyhodnocování vyrobených vzorků. Diplomová práce je systematicky rozdělena na dvě hlavní části - teoretickou a praktickou. První část práce se zabývá problematikou drsností povrchu, jejího rozdělení a měření. V druhé části diplomové práce se nachází praktické shrnutí testovaných vzorků společně se zkouškami a následným vyhodnocením.

Aby bylo možné přistoupit k experimentálním zkouškám, bylo nutné tyto vzorky vytvořit, jejich výrobou se zabývá úvod praktické části. Zkoumané hladicí prototypové vzorky byly vyrobeny ve společnosti Dormer Pramet, a to ve třech sadách. První prototypová sada nesla označení XNGX 1308DNSN-P01 se zaoblením řezné hrany  $30\text{ }\mu\text{m}$  a se vzorky A7 a A0. V druhé sadě hladicích VBD XNGX 1308DNSN-P02 bylo zhotoveno zaoblení řezných hran na hodnotu  $50\text{ }\mu\text{m}$  se vzorky B8 a B9. Poslední třetí sadou byly hladicí VBD s typovým označením XNGX 1308DNSN-P03, v této sadě se nacházely vzorky C1 a C8 se zaoblením řezných hran  $70\text{ }\mu\text{m}$ . Všechny hladicí prototypové destičky měly pozitivní geometrii svého hladicího břitu se sklonem ostří  $10^\circ$  bez fazetky. Hladicí břit byl rektifikován (zaoblen). Hlavní řezná hrana hladicí VBD měla negativní geometrii břitu  $0^\circ$ .

Experimentální testy byly prováděny na standardní hrubovací fréze s označením 160C08R-S57PN13 a průměru  $D=160\text{ mm}$  a úhlem nastavení  $\kappa_r=57^\circ$ . Fréza je určena pro upnutí až osmi VBD. V rámci experimentu byla upnuta vždy jedna hladicí VBD se sedmi hrubovacími standardními VBD PNMU 1308DNSR-M. Tyto destičky byly opatřeny fazetkou o délce  $0,25\text{ mm}$ , ta byla utvořena pozitivně v úhlu  $16^\circ$ . Její utvařecí třísky měl sklon  $9^\circ$ . Před samotným začátkem testování bylo nutné provést kontrolu ustavení těchto VBD na vertikálním seřizovacím přístroji BMD 465v, díky této kontrole byla zjištěna reálná výška včetně upínače. Po ustavení hrubovacích a hladicí VBD bylo možné přejít k samotnému experimentu, který probíhal za předem stanovených řezných podmínek a na horizontálním frézovacím stroji CNC-FCV 63 SCA o výkonu včetně 32 kW. Experimentální zkoušky byly rozděleny na zkoušky funkční a zkoušky trvanlivostní. Testování bylo zahájeno na referenčním materiálu C45 (ČSN 12050.1). V rámci funkčních zkoušek byly ověřovány funkčnosti nástroje v řezu, cíleně byly měněny řezné parametry a sledována aritmetická úchylka profilu  $R_a$  i výšková nerovnost profilu  $R_z$ .

Funkčními testy bylo možné vyhodnotit neoptimálnější geometrii hladící VBD v závislosti na kvalitě obrobené plochy. Postupným měřením jsme došli k závěru, že

- a) nejlepších výsledků v oblasti funkčních zkoušek dosáhly vzorky z prototypové sady XNGX 1308DNSN-P03 se zaoblením řezné hrany 70  $\mu\text{m}$ ,
- b) zkouškami bylo zjištěno, že ostřejší geometrie se zaoblením řezných hran 30 a 50  $\mu\text{m}$ , dokáže zanechat dostatečně hladký povrch i při intenzivních podmínkách,
- c) za předpokladu zvýšení řezné rychlosti  $v_c$  a zvolení vyššího posuvu na zub  $f_z$ , bylo zaznamenáno, že měřená drsnost polotovaru výrazně klesá oproti nižším rychlostem a nižšího posuvu na zub  $f_z$ .
- d) nejhorší výsledky byly zaznamenány u prototypových sad XNGX 1308DNSN-P01, které neprokazovaly dobrou drsnost povrchu zejména při volení nízkých řezných rychlostí.

Prototypové vzorky byly dále podrobeny zkouškám na trvanlivost hlavního ostří na referenčním materiálu C45 (ČSN 12050.9) a nástrojové oceli X37CrMoV5-1 (ČSN 19552). V rámci měření průběhu opotřebení, byly zaznamenávány hodnoty střední aritmetické úchytky profilu  $R_a$  a výškové nerovnosti  $R_z$ . Testování započalo na totožném referenčním materiálu C45 (ČSN 12050.9), frézovacím centru CNC-FCV 63 SCA a za předem stanovených řezných podmínek. Z důvodu objektivního a přesného měření byly vzorky podrobeny zkouškám na trvanlivost i na nástrojovém materiálu nesoucí označení X37CrMoV5-1 (ČSN 19552).

Trvanlivostními zkouškami na materiálu C45 (ČSN 12050.9) bylo možné dojít k závěru, který lze shrnout do následujících bodů:

- a) Vzhledem k rozměrům polotovaru bylo měření rozděleno do sedmi úseků rozfázovaných po 5 minutách z důvodu docílení efektivnosti obrábění,
- b) řezná zkouška byla ukončena po 35 minutách s vyhodnocením v závislosti na kritériu opotřebení hřbetu hladících VBD,
- c) u všech vzorků se z hlediska průběhu zkoušky vytvořily trhliny na čele VBD,
- d) nejmenší opotřebení bylo zaznamenáno u vzorků XNGX 1308DNSN-P02 s naměřenou hodnotou 0,13 mm, vzhledem k opotřebení byla navržnuta změna materiálu C45 (ČSN 12050.9) na materiál X37CrMoV5-1 (ČSN 19552).



Trvanlivostními zkouškami na materiálu C45 (ČSN 12050.9) v rámci sledování drsnosti povrchu bylo možné dojít k závěru, který lze shrnout do následujících bodů:

- a) z hlediska sledování aritmetické úchylky profilu  $R_a$  dopadly nejlépe vzorky VBD XNGX 1308DNSN-P01 a XNGX 1308DNSN-P03 se zaoblením řezných hran 30  $\mu\text{m}$  a 70  $\mu\text{m}$ ,
- b) z důvodu vysokého rozdílu naměřených hodnot u vzorků *A7* a *A0* z prototypové sady XNGX 1308DNSN-P01 a vzorků *C1* a *C8* u prototypové sady s označením XNGX 1308DNSN-P03 bylo nutné vzorky prohlásit za nespolehlivé,
- c) nejmenší rozdíl výsledných hodnot testovaných vzorků byl zaznamenán u prototypu XNGX 1308DNSN-P02, jeho rozdíl hodnot nepřekročil 0,040  $\mu\text{m}$ .

Trvanlivostními testy na materiálu X37CrMoV5-1 (ČSN 19552) bylo možné dojít k závěru, který lze shrnout do následujících bodů:

- a) Měření bylo možné rozdělit do čtyř úseků v trvání 5 minut,
- b) v průběhu trvanlivostní zkoušky došlo u vybraných prototypů k vytvoření hřebenových trhlin na čele VBD; prohlubování trhlin způsobilo narušení hřbetu,
- c) narušení hřbetu hladicí VBD mělo za následek vyštípnutí značné části hlavního břitu; z důvodu vylomení došlo k ukončení testů po 19 minutě,
- d) největší trvanlivost byla naměřena u VBD XNGX 1308DNSN-P02 s hodnotou 19,6 minut, VBD XNGX 1308DNSN-P03 dosáhly trvanlivosti 14,7 minut a u VBD XNGX 1308DNSN-P01 9,8 minut.

Trvanlivostními zkouškami na materiálu X37CrMoV5-1 (ČSN 19552) v rámci sledování drsnosti povrchu bylo možné dojít k závěru, který lze shrnout do následujících bodů:

- a) nejlepšího výsledku, ve všech měřených úsecích v závislosti měření s ohledem na kvalitu obrobené plochy dosáhly VBD XNGX 1308DNSN-P01, které však v důsledku zvýšeného rozdílu měřených hodnot nemohly být vyhodnoceny jako nejoptimálnější,
- b) všechny vzorky vykazovaly přijatelnou aritmetickou úchylku profilu  $R_a$  do 15 minut testování,

- c) nejmenší rozdíl měřených hodnot prototypových vzorků byl zaznamenán na hladící VBD XNGX 1308DNSN-P02, která vykazovala nejlepší hodnoty do třetí fáze měření,
- d) z hlediska naměřených dat bylo možné rozhodnout, že při testech trvanlivosti na materiálu X37CrMoV5-1 (ČSN 19552) obstála hladící VBD s označením XNGX 1308DNSN-P02 se zaoblením řezné hrany 50  $\mu\text{m}$ .

Z předchozích závěrů je možné vyvodit, že nejvhodnější geometrií hladící vyměnitelné břitové destičky jsou vzorky z prototypové sady XNGX 1308DNSN-P02. Tyto vzorky prokázaly vysokou trvanlivost i při intenzivních řezných podmínkách, a to i při maximálním posuvu na zub  $f_z=0,70$  mm. Díky experimentálním testům je možné garantovat trvanlivost hladící destičky při frézování po dobu 19,6 minut, při maximálních řezných podmínkách a na materiálu X37CrMoV5-1 (ČSN 19552) o tvrdosti 310 HB. Hladící destičky si vedly velmi dobře a zachovávaly kvalitní obrobený povrch do drsnosti  $R_a=3,20$   $\mu\text{m}$ , což bylo požadavkem zákazníků na vývojové oddělení společnosti Dormer Pramet.

## 7 Seznam použité literatury

- [1] Profil společnosti. Dormer Pramet. [online]. [2011] [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <http://www.dormerpramet.com/cs-cz/company/who-we-are>
- [2] GROOVER, Mikell P. Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems. New York: John Wiley, c1999. ISBN 0-471-36680-3.
- [3] BRYCHTA, Josef. Nové směry v progresivním obrábění [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008 [cit. 2018-03-02]. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁNÍ: Drsnost povrchu [online]. [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: [http://sps-projekt.hostuju.cz/soubory/Drsnost\\_povrchu.pdf](http://sps-projekt.hostuju.cz/soubory/Drsnost_povrchu.pdf)
- [5] Strojírenská Technologie II: Technologie II - 1.díl [online]. [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: [http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta\\_Technologie\\_II\\_1dil.pdf](http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_1dil.pdf)
- [6] Katalog měřících přístrojů: JENOPTIK INDUSTRIAL METROLOGY [online]. 2017 [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <https://www.hommel-etamic.cz/files/hommel-cs-katalog-2017.pdf>
- [7] DRASTÍK, František. Označování drsnosti [online]. [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <http://cad.spsnome.cz/tek/28.htm>
- [8] TICHÁ, Šárka. Strojírenská metrologie. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0671-1.
- [9] BUMBÁLEK, Bohumil, Vladimír ODVODY a Bohuslav OŠŤÁDAL. Drsnost povrchu. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
- [10] SANDVIK COROMANT: Frézování [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: [http://www.rpb.cz/sites/default/files/catalogues/sandvik/MTG\\_D.pdf](http://www.rpb.cz/sites/default/files/catalogues/sandvik/MTG_D.pdf)
- [11] SANDVIK COROMANT: Skupiny obráběných materiálů [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: [https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece\\_materials/workpiece\\_material\\_groups/pages/default.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece_materials/workpiece_material_groups/pages/default.aspx)
- [12] PRAMET TOOLS, s.r.o.: Příručka obrábění [online]. 2004 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: [http://www.isstechn.cz/objekty/prirucka\\_obrazeni.pdf](http://www.isstechn.cz/objekty/prirucka_obrazeni.pdf)
- [13] PRAMET TOOLS, s.r.o. Frézování 2017: Katalog společnosti Pramet Tools. Šumperk: Pramet Tools, s.r.o., 2017. 316 s.

- [14] AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění –  
Kniha pro praktiky. Přel. M. Kundela. 1. Vyd. Praha: Scientia s.r.o. 1997. 857s. Přel.  
z: Metal cutting - A practical handbook. ISBN 91-972299-4-6.
- [15] Interní materiály společnosti Dormer Pramet.
- [16] Ferro Steel: Materiálový list C45 (12050.1) [online]. [cit. 2018-04-14]. Dostupné z:  
<http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-12050.pdf>
- [17] Bolzano: Přehled vlastností oceli C45 [online]. [cit. 2018-04-14]. Dostupné z:  
[http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP\\_%20Tycova\\_ocel/EN\\_10083/MOP\\_vlastnosti\\_C45.pdf](http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10083/MOP_vlastnosti_C45.pdf)
- [18] Bolzano: Přehled vlastností oceli X37CrMoV5-1 [online]. [cit. 2018-04-16].  
Dostupné z: [http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Nastrojove\\_oceli/MOP\\_X37CrMoV5-1.pdf](http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Nastrojove_oceli/MOP_X37CrMoV5-1.pdf)
- [19] Tool Steel: Nástrojová ocel X37CrMoV5-1 [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z:  
<http://toolsteel.cz/1-2343-x37crmo5-1-x38crmov5-1-19552/>
- [20] HSBETTERIT: Hot work tool steel DIN 1.2343 [online]. [cit. 2018-04-26].  
Dostupné z: <http://www.hsbetterit.com/index.php/article/175/262.html>

## 8 Seznam obrázků

Obrázek 1.1 Sortiment společnosti Dormer Pramet Šumperk [1] .....	- 12 -
Obrázek 2.1 Směry posuzování drsnosti povrchu [4] .....	- 14 -
Obrázek 2.2 Měřené délky [3] .....	- 14 -
Obrázek 2.3 Výškové parametry $R_v$ , $R_p$ a $R_z$ [3] .....	- 15 -
Obrázek 2.4 Výškový parametr $R_a$ [3] .....	- 16 -
Obrázek 2.5 Výškový parametr $R_q$ [3] .....	- 16 -
Obrázek 2.6 Výškový parametr $R_{sk}$ [3] .....	- 16 -
Obrázek 2.7 Délkový parametr $RS_m$ [3] .....	- 17 -
Obrázek 2.8 Tvarový parametr $R\Delta_q$ [3] .....	- 17 -
Obrázek 2.9 Profil drsnosti soustruženého povrchu [3] .....	- 17 -
Obrázek 2.10 Profil drsnosti broušeného povrchu [3] .....	- 17 -
Obrázek 2.11 Příklady značení drsnosti dle normy ISO ČSN 1302 [7] .....	- 18 -
Obrázek 2.12 Zápis parametrů struktury povrchu [7] .....	- 19 -
Obrázek 2.13 Umístění značek drsnosti na výkresech [7] .....	- 19 -
Obrázek 2.14 Příklad značení drsnosti [7] .....	- 19 -
Obrázek 2.15 Příklad značení drsnosti s dolním i horním profilem [7] .....	- 19 -
Obrázek 2.16 Princip měření dotykovým profilometrem [8] .....	- 21 -
Obrázek 2.17 Metoda světelného řezu, princip a okulár [8] .....	- 22 -
Obrázek 2.18 Interferenční mikroskop [8] .....	- 23 -
Obrázek 2.19 Obraz okuláru přístroje [8] .....	- 23 -
Obrázek 3.1 Ostrý břit [12] .....	- 25 -
Obrázek 3.2 Břit s fazetkou ( předčelím ) [12] .....	- 25 -
Obrázek 3.3 Rektifikované ostří [12] .....	- 26 -
Obrázek 3.4 Fazetkové ostří rektifikované [12] .....	- 26 -
Obrázek 3.5 Uložení standardní a hladicí VBD [13,14] .....	- 27 -
Obrázek 3.6 Axiální vychýlení hladicí destičky [15] .....	- 28 -
Obrázek 3.7 Schematický postup výroby VBD [15] .....	- 30 -
Obrázek 3.8 Sinjet IBX 12 [15] .....	- 31 -
Obrázek 4.1 Vyměnitelné břitové destičky PNMU 1308DNSR-M .....	- 33 -
Obrázek 4.2 Vyměnitelné břitové destičky XNGX 1308DNSN-P01, P02 a P03 .....	- 33 -
Obrázek 4.3 Fréza 160C08R-S57PN13 .....	- 34 -
Obrázek 4.4 Parametry frézy 160C08R-S57PN13 [15] .....	- 35 -
Obrázek 4.5 Frézovací centrum FCV 63 SCA .....	- 37 -
Obrázek 4.6 Materiál ocel C45 (ČSN 12050.1) .....	- 38 -
Obrázek 4.7 Nástrojová ocel X37CrMoV5-1 (ČSN 19552) [20] .....	- 39 -

Obrázek 4.8 Kontrola ustavení hladící plochy VBD .....	- 40 -
Obrázek 4.9 Příprava zařízení Hommel - Etamic W5 .....	- 41 -
Obrázek 4.10 Měření drsnosti pomocí Hommel - Etamic W5 .....	- 41 -
Obrázek 5.1 Nový navrhovaný sortiment Dormer Pramet s hladicí VBD .....	- 60 -

## 9 Seznam tabulek

Tabulka 3.1 Rozdělení obráběných materiálů dle ISO 513 [11] .....	- 24 -
Tabulka 4.1 Základní rozměry frézy 160C08R-S57PN13 [15].....	- 35 -
Tabulka 4.2 VBD PNMQ 1308DNSN a PNMU 1308DNSR-M[15].....	- 35 -
Tabulka 4.3 Technické parametry FCV 63 SCA.....	- 37 -
Tabulka 4.4 Mechanické vlastnosti materiálu C45 (ČSN 12050.1) [16,17].....	- 38 -
Tabulka 4.5 Chemické složení materiálu C45 (ČSN 12050.1) [16,17].....	- 38 -
Tabulka 4.6 Mechanické vlastnosti materiálu X37CrMoV5-1 (ČSN 19552) [18,19]....	- 38 -
Tabulka 4.7 Chemické složení materiálu X37CrMoV5-1 (ČSN 19552) [18,19].....	- 39 -
Tabulka 4.8 Volba řezných podmínek, funkční zkoušky, ocel C45 (ČSN 12050.1).....	- 40 -
Tabulka 4.9 Volba řezných podmínek, trvanlivost, ocel C45 a ocel X37CrMoV5-1 ....	- 43 -
Tabulka 5.1 Ceny navrhovaného řešení s hladicí VBD XNGX 1308DNSN .....	- 60 -
Tabulka 5.2 Ceny standardního řešení bez hladicí VBD s ADMX 160608SR-M .....	- 61 -
Tabulka 5.3 Parametry frézy 100A06R-S90AD16E-C a VBD ADMX 160608SR-M..	- 61 -

## 10 Seznam grafů

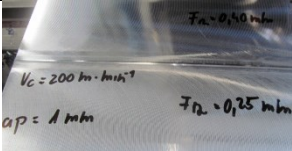
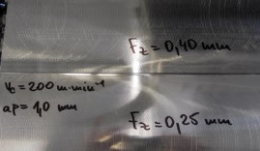
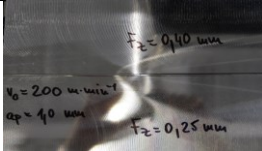

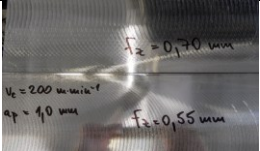
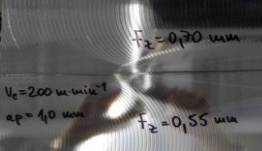
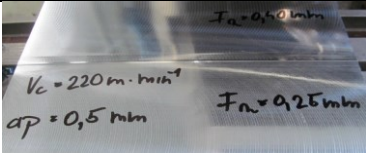
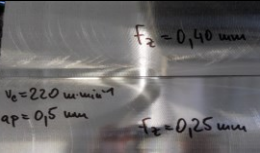
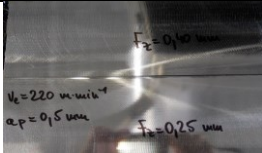
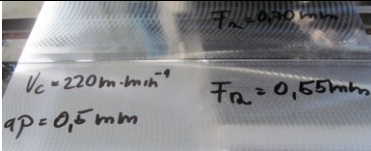
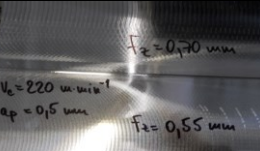
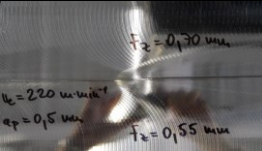
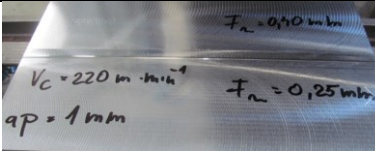
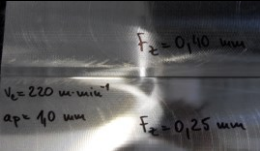
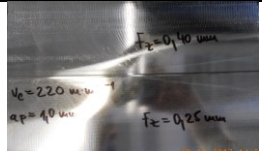
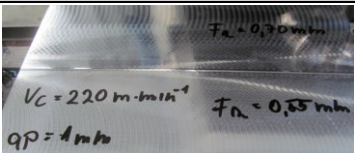
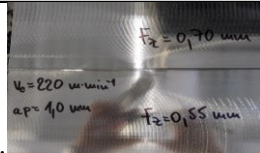
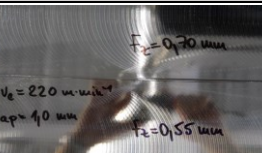
Graf 4.1 Vyhodnocení drsnosti povrchu Ra pro řeznou rychlost $v_c=200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .....	- 45 -
Graf 4.2 Vyhodnocené drsnosti povrchu Rz pro řeznou rychlost $v_c=200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .....	- 46 -
Graf 4.3 Opotřebení VB <sub>B</sub> hladícího břitu na hřbetu VBD XNGX1308DNSN .....	- 48 -
Graf 4.4 Hodnoty drsnosti povrchu Ra v závislosti na trvanlivosti nástroje .....	- 48 -
Graf 4.5 Hodnoty drsnosti povrchu Rz v závislosti na trvanlivosti nástroje .....	- 48 -
Graf 4.6 Míra trvanlivosti hlavního ostří .....	- 52 -
Graf 4.7 Hodnoty drsnosti povrchu Ra v závislosti na trvanlivosti nástroje .....	- 52 -
Graf 4.8 Hodnoty drsnosti povrchu Rz v závislosti na trvanlivosti nástroje .....	- 52 -
Graf 5.1 Hodnoty drsnosti povrchu Ra a Rz pro PNMU 1308DNSR-M a hladící VBD XNGX 1308DNSN-P02 .....	- 52 -



## 11 Seznam příloh

Příloha A	Průběhy funkční zkoušky hladících VBD na materiálu C45 (ČSN 12050.1)
Příloha B	Vyhodnocení drsnosti povrchu $R_a$ pro řeznou rychlost $v_c=180 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$
Příloha C	Vyhodnocení drsnosti povrchu $R_z$ pro řeznou rychlost $v_c=180 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$
Příloha D	Vyhodnocení drsnosti povrchu $R_a$ pro řeznou rychlost $v_c=200 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$
Příloha E	Vyhodnocení drsnosti povrchu $R_z$ pro řeznou rychlost $v_c=200 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$
Příloha F	Vyhodnocení drsnosti povrchu $R_a$ pro řeznou rychlost $v_c=220 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$
Příloha G	Vyhodnocení drsnosti povrchu $R_z$ pro řeznou rychlost $v_c=220 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$
Příloha H	Průběh opotřebení $VB_B$ na materiálu C45 (ČSN 12050.9)
Příloha CH	Průběh opotřebení $VB_B$ na materiálu X37CrMoV5-1 (ČSN 19552)
Příloha I	Opotřebení hladícího břitů XNGX 1308DNSN, na materiálu C45
Příloha J	Opotřebení hladícího břitů XNGX 1308DNSN, na materiálu X37CrMoV5-1

Funkční zkoušky obrábění VBD XNGX 1308DNSN-P01,-P02,-P03		
Materiál C45 (ČSN 12050.1)		
XNGX 1308DNSN-P01	XNGX 1308DNSN-P02	XNGX 1308DNSN-P03
$v_c=180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$	$v_c=180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$	$v_c=180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$
$v_c=180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$ $f_z=0,55; 0,70 \text{ mm}$	$v_c=180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$ $f_z=0,55; 0,70 \text{ mm}$	$v_c=180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$ $f_z=0,55; 0,70 \text{ mm}$
$v_c=180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$	$v_c=180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$	$v_c=180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$
$v_c=180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,55; 0,70 \text{ mm}$	$v_c=180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,55; 0,70 \text{ mm}$	$v_c=180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,55; 0,70 \text{ mm}$
$v_c=200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$	$v_c=200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$	$v_c=200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$
$v_c=200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$ $f_z=0,55; 0,70 \text{ mm}$	$v_c=200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$ $f_z=0,55; 0,70 \text{ mm}$	$v_c=200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$ $f_z=0,55; 0,70 \text{ mm}$
$v_c=200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$	$v_c=200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$	$v_c=200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$

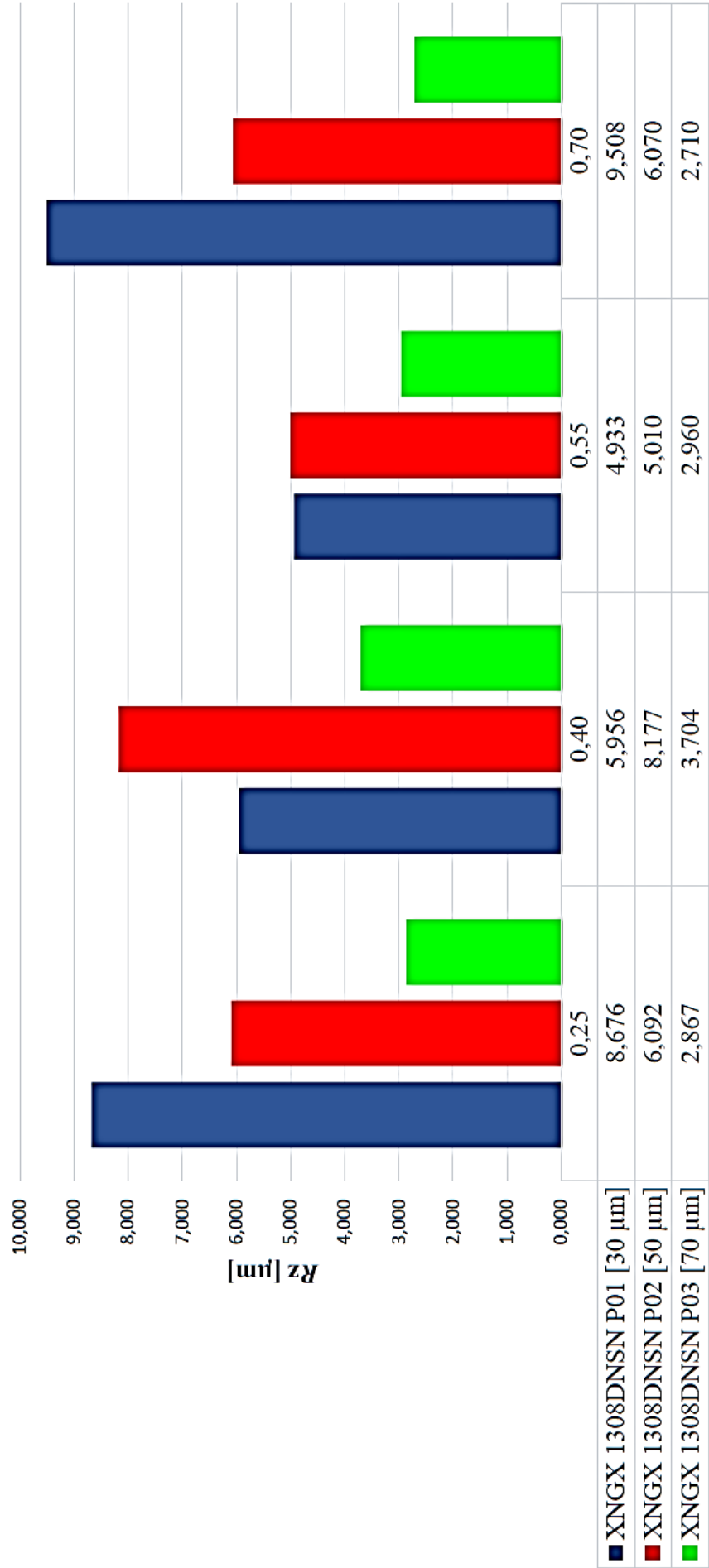
		
$v_c=200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,55; 0,70 \text{ mm}$	$v_c=200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,55; 0,70 \text{ mm}$	$v_c=200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,55; 0,70 \text{ mm}$
		
$v_c=220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$	$v_c=220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$	$v_c=220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$
		
$v_c=220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$ $f_z=0,55; 0,70 \text{ mm}$	$v_c=220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$ $f_z=0,55; 0,70 \text{ mm}$	$v_c=220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$ $f_z=0,55; 0,70 \text{ mm}$
		
$v_c=220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$	$v_c=220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$	$v_c=220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$
		
$v_c=220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$	$v_c=220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$	$v_c=220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$
		
$v_c=220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$	$v_c=220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$	$v_c=220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p=1,0 \text{ mm}$ $f_z=0,25; 0,40 \text{ mm}$

Výsledná drsnost povrchu  $R_a$   
VBD 7x PNMU 13 + 1x XNGX 13-P01/-P02/-P03  
( $v_c = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ) na oceli C45 (ČSN 12 050.1) (190 HB)



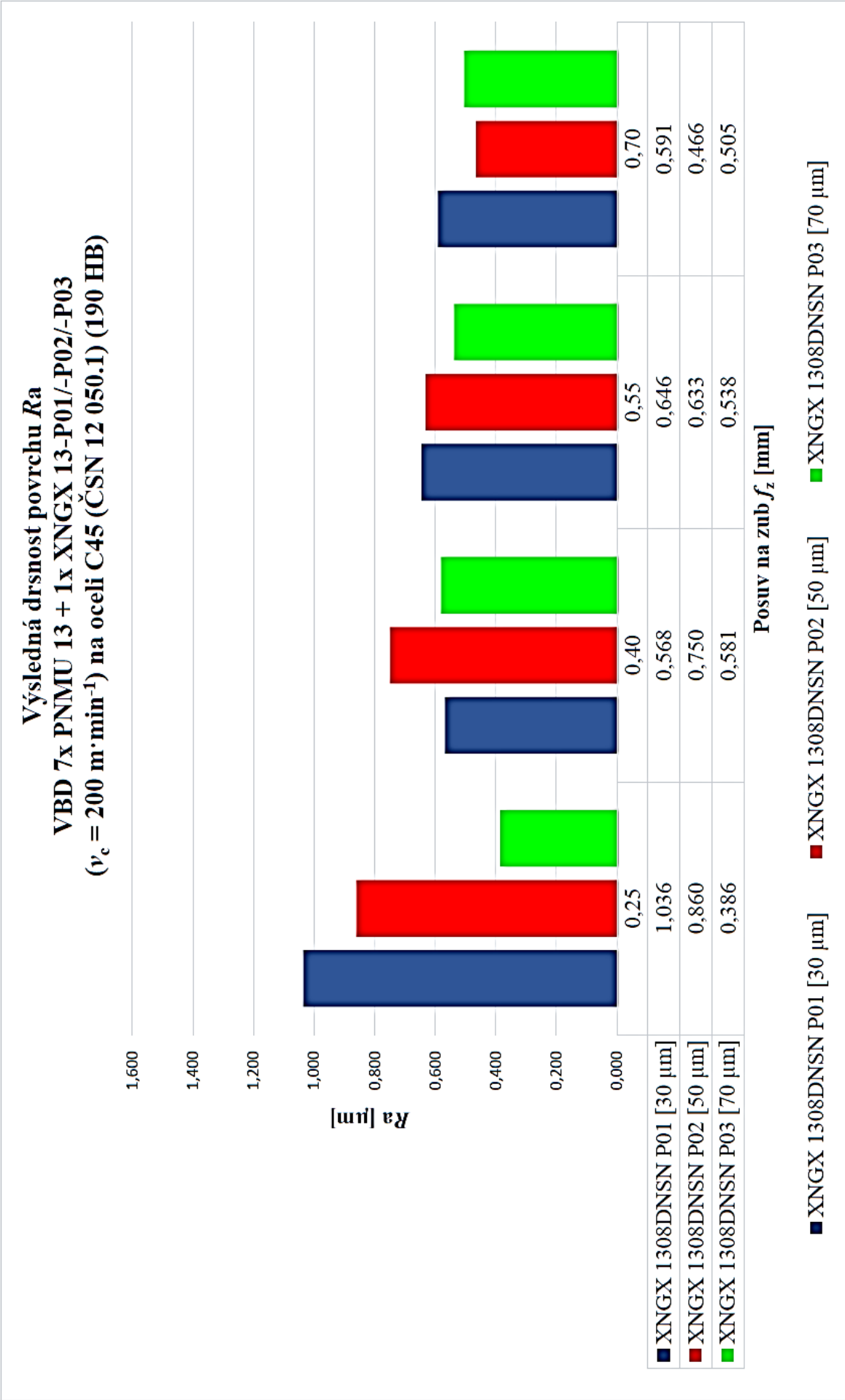
■ XNGX 1308DNSN P01 [30 µm]    ■ XNGX 1308DNSN P02 [50 µm]    ■ XNGX 1308DNSN P03 [70 µm]

Výsledná drsnost povrchu  $R_z$   
VBD 7x PNMU 13 + 1x XNGX 13-P01/-P02/-P03  
( $v_c = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ) na oceli C45 (ČSN 12 050.1) (190 HB)



Posuv na zub  $f_z$  [mm]

■ XNGX 1308DNSN P01 [30 µm]    ■ XNGX 1308DNSN P02 [50 µm]    ■ XNGX 1308DNSN P03 [70 µm]



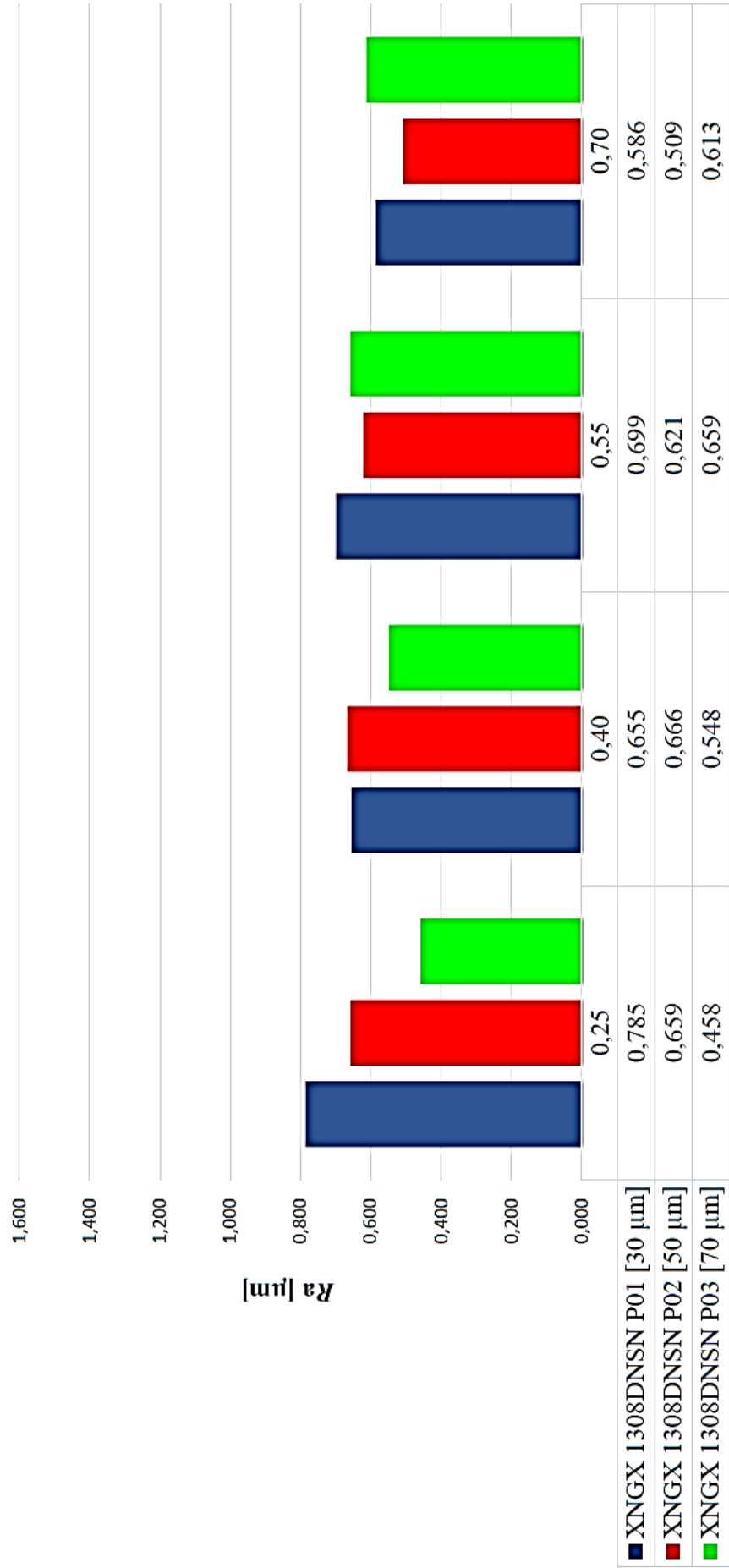
Výsledná drsnost povrchu  $R_z$   
VBD 7x PNMU 13 + 1x XNGX 13-P01/-P02/-P03  
( $v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ) na oceli C45 (ČSN 12 050.1) (190 HB)



■ XNGX 1308DNSN P01 [30 µm]   ■ XNGX 1308DNSN P02 [50 µm]   ■ XNGX 1308DNSN P03 [70 µm]



Výsledná drsnost povrchu  $R_a$   
VBD 7x PNMU 13 + 1x XNGX 13-P01/-P02/-P03  
( $v_c = 220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ) na oceli C45 (ČSN 12 050.1) (190 HB)

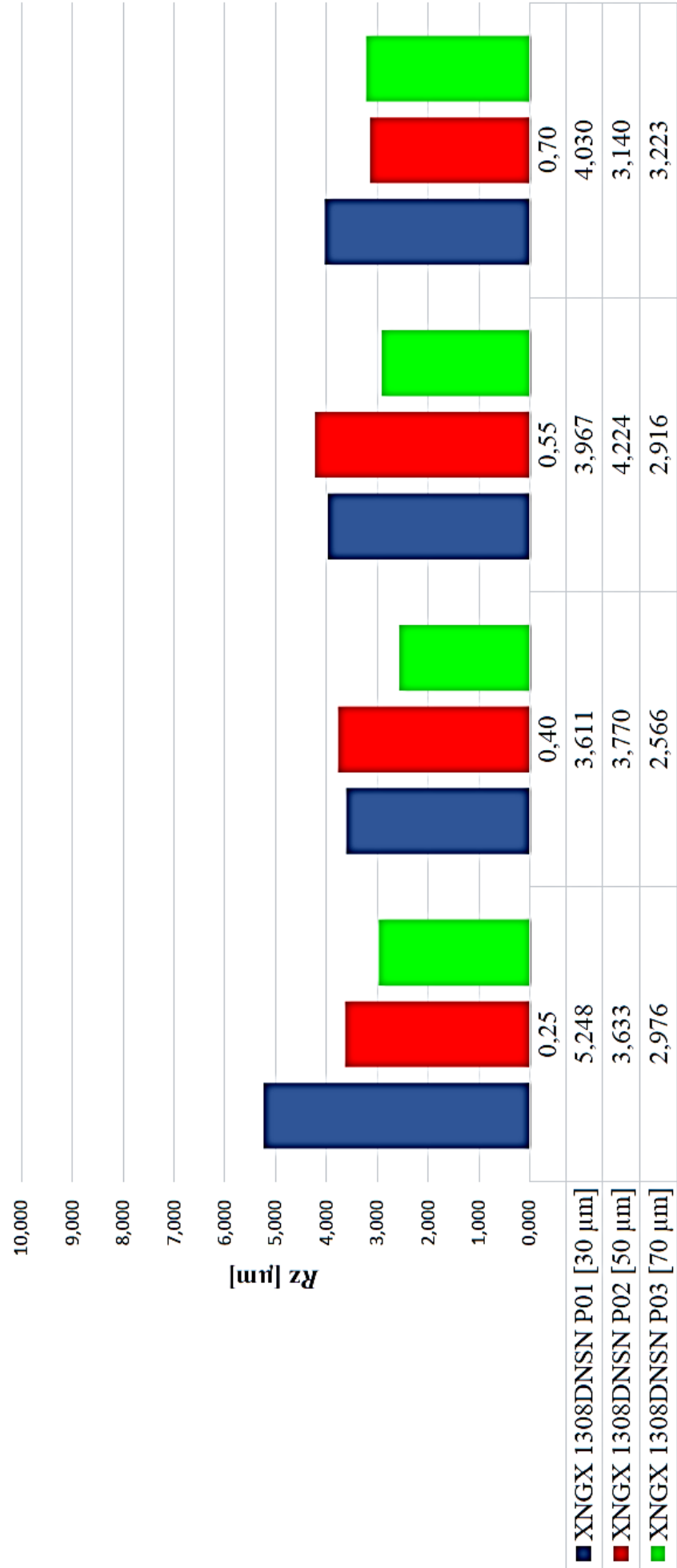


Posuv na zub  $f_z$  [mm]

■ XNGX 1308DNSN P01 [30 µm]    ■ XNGX 1308DNSN P02 [50 µm]    ■ XNGX 1308DNSN P03 [70 µm]



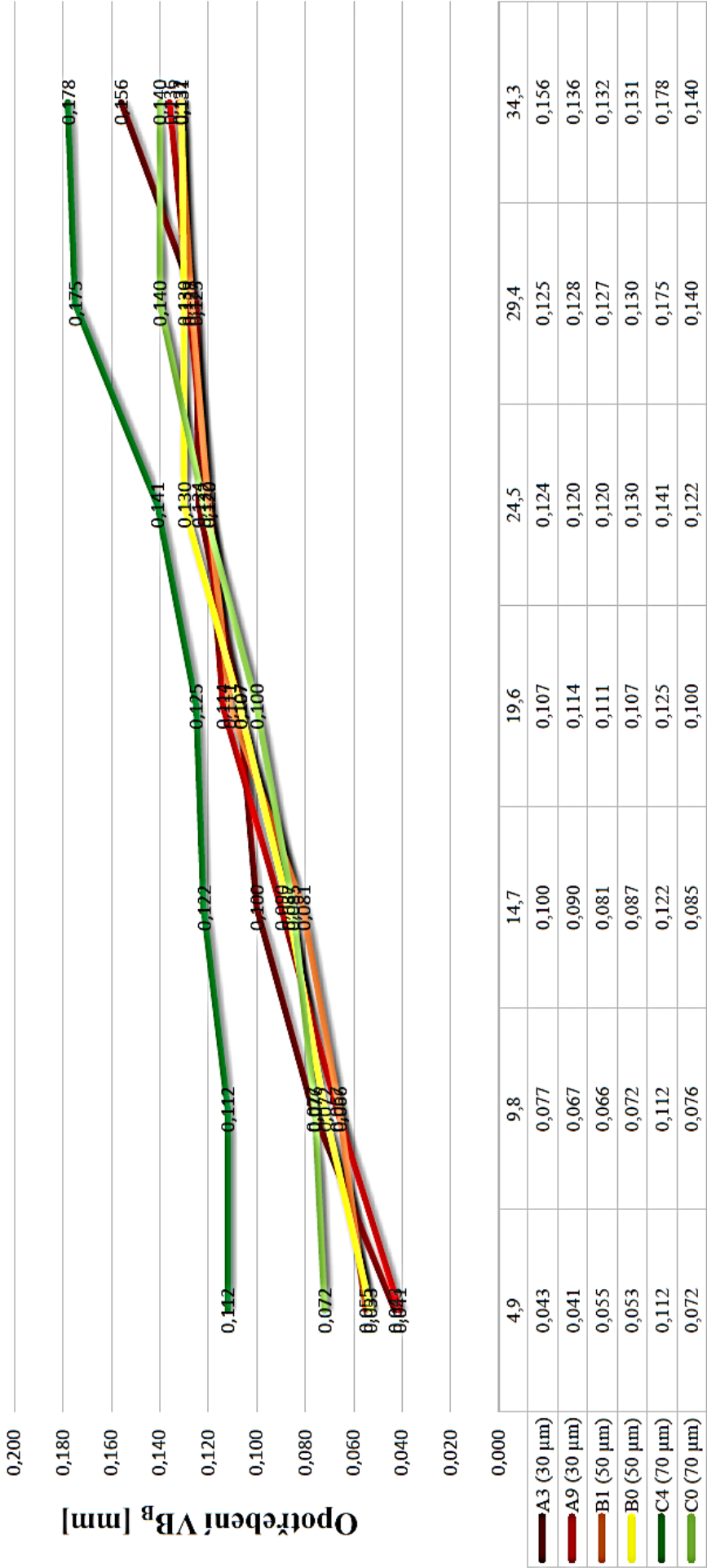
Výsledná drsnost povrchu  $R_z$   
VBD 7x PNMU 13 + 1x XNGX 13-P01/-P02/-P03  
( $v_c = 220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ) na oceli C45 (ČSN 12 050.1) (190 HB)



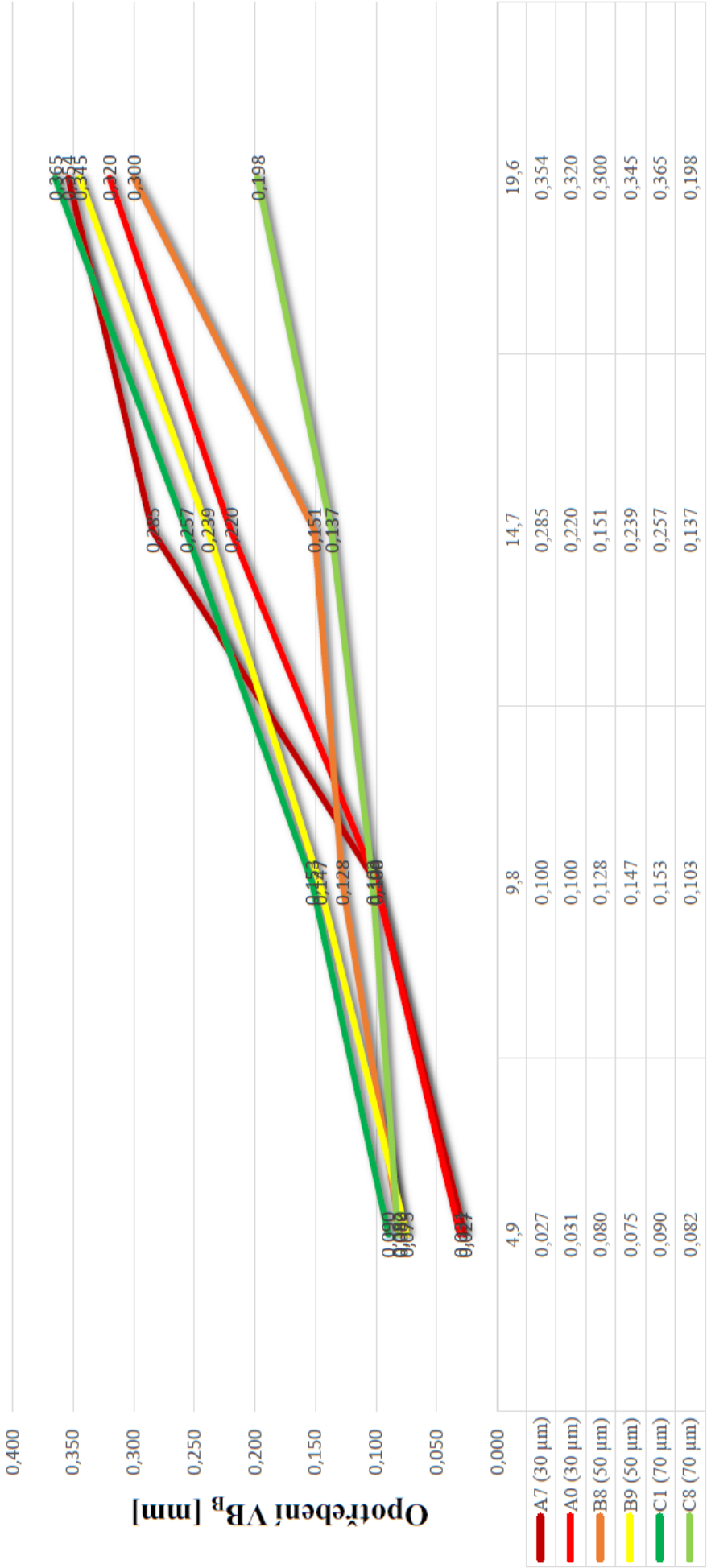
Posuv na zub  $f_z$  [mm]

■ XNGX 1308DNSN P01 [30 µm]   ■ XNGX 1308DNSN P02 [50 µm]   ■ XNGX 1308DNSN P03 [70 µm]

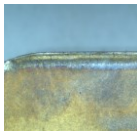
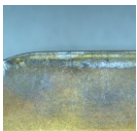
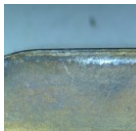
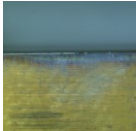
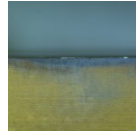
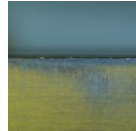
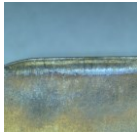
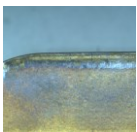
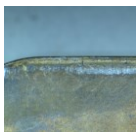
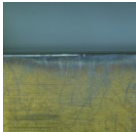
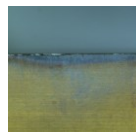
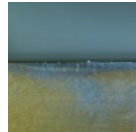
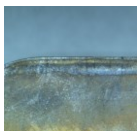
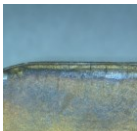
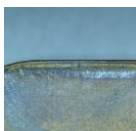
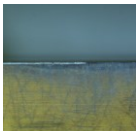
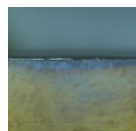


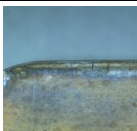

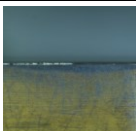
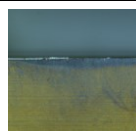
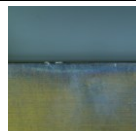
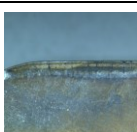
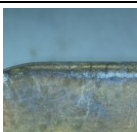

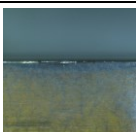
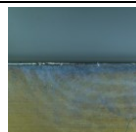

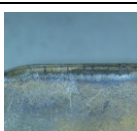
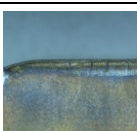
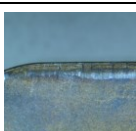
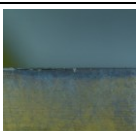
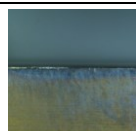
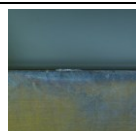
Průběh opotřebení - VB<sub>B</sub>  
VBD XNGX 1308DNSN -P01, P02, P03 na oceli C45 ( ČSN 12050.9)



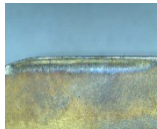
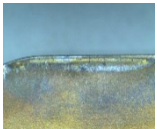
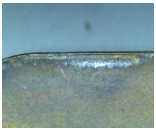
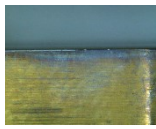
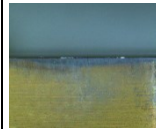
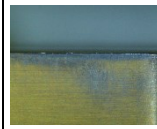

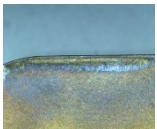

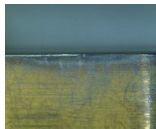
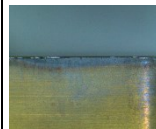
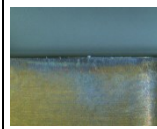
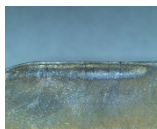
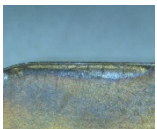
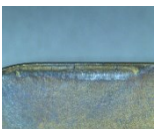
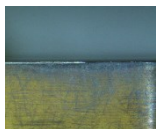

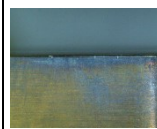

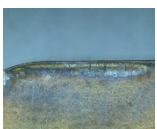
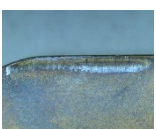


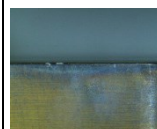

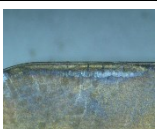

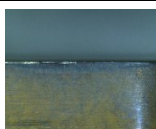
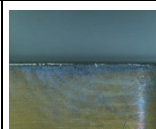

Průběh opotřebení - VB<sub>B</sub>  
VBD XNGX 1308DNSN -P01, P02, P03 na oceli X37CrMoV5-1 ( ČSN 19552)



## Příloha I

Opotřebení hladícího bříty VBD XNGX 1308DNSN-P01,-P02,-P03						
Materiál C45 (ČSN 12050.9)						
	Opotřebení čela			Opotřebení hřbetu		
<i><b>TYP VBD</b></i>	XNGX 1308DNSN P01	XNGX 1308DNS N P02	XNGX 1308DNS N P03	XNGX 1308DNS N P01	XNGX 1308DNS N P02	XNGX 1308DNS N P03
<b>Vzorek</b>	A3	B1	C4	A3	B1	C4
<b>10 min</b>						
<b>15 min</b>						
<b>20 min</b>						
<b>25 min</b>						
<b>30 min</b>						
<b>35 min</b>						

## Příloha J

Opotřebení hladícího břitu VBD XNGX 1308DNSN-P01,-P02,-P03						
Materiál X37CrMoV5-1 (ČSN 19552)						
	Opotřebení čela			Opotřebení hřbetu		
<i><b>TYP VBD</b></i>	XNGX 1308DNSN P01	XNGX 1308DNS N P02	XNGX 1308DNS N P03	XNGX 1308DNS N P01	XNGX 1308DNS N P02	XNGX 1308DNS N P03
Vzorek	A3	B1	C4	A3	B1	C4
10 min						
15 min						
20 min						
25 min						
30 min						
35 min	